

MARIA APARECIDA ZEHNPFENNIG ZANETTI

GRADIENTE VERTICAL DA GRAVIDADE

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1991

GRADIENTE VERTICAL DA GRAVIDADE

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas para obtenção do Grau de Mestre em Ciências pela
Universidade Federal do Paraná

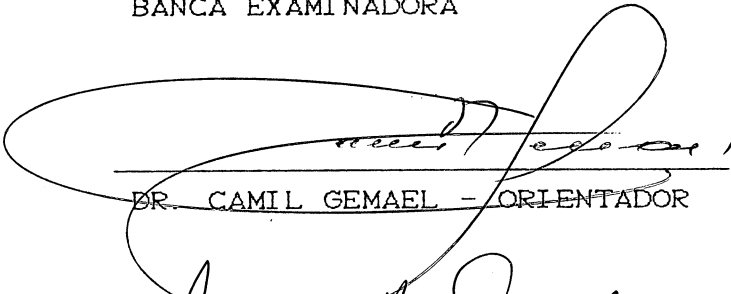
Por

MARIA APARECIDA ZEHNPFENNIG ZANETTI, Engenheira
Cartógrafa

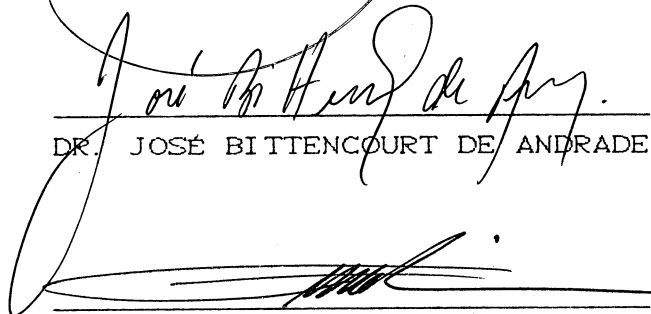
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1991


BANCA EXAMINADORA



DR. CAMIL GEMAEI - ORIENTADOR



DR. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE



MS FRANÇOIS ALBERT ROSIER

AGRADECIMENTOS

Desejo externar sinceros agradecimentos ao professor

Dr. Camil Gemaël,

orientador do presente trabalho, bem como às pessoas e instituições abaixo relacionadas, que contribuíram de forma relevante em várias etapas de sua confecção:

Erwin Groten, Phd

Carlos Nadal, MS

Paulo C. L. Krelling, MS

Aguinaldo Lapa de Souza Júnior, Eng. Cartógrafo

Pedro Luis Faggion, Eng. Cartógrafo

UFPR

CNPq

CAPES

Norberto Zanetti

RESUMO

Foram determinadas diferenças de gravidade, com o gravímetro LCR-D, número 99, entre 59 estações localizadas nos degraus de uma escadaria, no edifício da administração no Centro Politécnico, UFPR, visando a obtenção de gradientes verticais da gravidade. Considerou-se as correções da deriva dinâmica, da força de maré e, com algumas simplificações, da massa do edifício em questão.

O valor médio obtido foi de $- 0,302 \text{ mGal/m}$ com desvio padrão de 0,005.

ABSTRACT

Gravity differences were determined with gravimeter LCR-D, number 99, among 59 stations, located on the steps of a staircase, in the administration building, at Centro Politécnico, UFPR, in order to obtain vertical gravity gradients. The corrections of dynamic drift, of tide strength and, with some simplifications, of the mass of the mentioned building were considered.

The average value obtained was $- 0.302 \text{ mGal/m}$ with a standard deviation of 0.005.

S U M A R I O

Título	ii
Agradecimentos	iii
Resumo e Abstract	iv
Sumário	v
Lista de Anexos	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Figuras	xvii
Lista dos Principais Símbolos	xx
INTRODUÇÃO	1

pag.

1 -	<u>TEORIA DA GRAVIDADE - NOÇÕES</u>	
	<u>INTRODUTÓRIAS</u>	
1.1 -	Gravidade	4
1.1.1 -	Força de atração	5
1.1.2 -	Força centrífuga	6
1.2 -	Anomalias da gravidade	6
1.2.1 -	Correção Free-air	8
1.2.1.1 -	Gradiente normal da gravidade teórica	9
1.3 -	Potencial	11
1.3.1 -	Potencial gravitacional	11
1.3.2 -	Potencial centrífugo	14
1.3.3 -	Geopotencial	15
1.3.4 -	Tensor gradiente da gravidade	16
1.4 -	Unidade " " Eotvos (E)	19

2 -	<u>DETERMINAÇÃO DO GRADIENTE VERTICAL</u> <u>DA GRAVIDADE</u>	
2.1 -	Breve Histórico	20
2.2 -	Determinação do gradiente vertical da gravidade por cálculo	23
2.3 -	Medida direta de gradientes verticais da gravidade	23
2.4 -	Medida indireta de gradientes verticais da gravidade	26
3-	<u>OBTENÇÃO DE GRADIENTES VERTICAIS DA</u> <u>GRAVIDADE NO EDIFÍCIO DA ADMINISTRAÇÃO</u> <u>NO CENTRO POLITÉCNICO</u>	
3.1 -	Introdução	27
3.2 -	Determinação do local dos pontos a serem gravimetrados	28
3.3 -	Equipamento utilizado	31
3.3.1 -	Para as medidas gravimétricas	31
3.3.2 -	Para a determinação das distâncias	32
3.4 -	Procedimento	33
3.4.1 -	Para a determinação das distâncias verticais	33
3.4.1.1 -	A partir de planta	33
3.4.1.2 -	Com paquímetro	33
3.4.2 -	Para a realização das medidas gravimétricas	35

3.5 -	Correções efetuadas	36
3.5.1 -	Conversão das leituras efetuadas com o gravímetro para miligals	37
3.5.2 -	Correção da força de maré	37
3.5.3 -	Correção da deriva dinâmica	38
3.5.4 -	Correção da influência da massa do edifício	39
4 -	<u>RESULTADOS OBTIDOS</u>	
4.1 -	Média, desvio padrão para uma observação isolada, desvio padrão da média e variância das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica (para cada circuito)	45
4.2 -	Influência da massa do edifício e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (para cada circuito)	51
4.3 -	Gradientes verticais da gravidade obtidos a partir de medidas de alturas com paquímetro e de planta, com média, desvio padrão para uma observação isolada, desvio padrão da média e variância (para cada circuito)	60
4.4 -	Média, desvio padrão para uma observação isolada, desvio padrão da	

	média e variância para gradientes verticais da gravidade obtidos mediante combinação entre todos os pontos de todos os circuitos	78
5 -	<u>CONCLUSÕES</u>	79
	NOTAS DE REFERÊNCIA	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE ANEXOS

	pag.
ANEXO A: tabela comparativa dos valores das alturas de planta (HP) e das alturas de paquímetro (HQ), para cada um dos pontos de medida.	91
ANEXO B: testes de sensibilidade dos níveis longitudinal e transversal e posicionamento correto da linha de leitura no gravímetro LCR modelo D, número 99.	94
Anexo C: listagem contendo a média das leituras gravimétricas efetuadas, com as respectivas data e hora de observação, para cada um dos circuitos.	98
ANEXO D: listagem do programa principal GRAD.FOR em linguagem Fortran.	115
ANEXO E: listagem contendo fator de correção da deriva dinâmica (CY), correção da força de maré (GO), leituras gravimétricas em mGal (XLEIFV), leituras gravimétricas corrigidas da força de maré (VLEI) e leituras corrigidas da deriva dinâmica (XF), para o circuito 1.	122
ANEXO F: listagem do programa MARÉ.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo da correção da força de maré.	125

ANEXO G: listagem da sub-rotina SMASSA.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo da influência da massa do edifício, sobre as leituras gravimétricas. 129

ANEXO H: listagem da sub-rotina MEDGRA.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo da média aritmética, desvio padrão para uma observação isolada e para a média, e variância dos gradientes verticais da gravidade. 133

ANEXO I: listagem do programa GERAL.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo dos gradientes verticais da gravidade, desconsiderando-se o fato dos circuitos pertencerem a verticais diferentes. 135

LISTA DE TABELAS

	pag.
Tabela 1 - Alguns valores observados de gradientes verticais da gravidade.	21
Tabela 2 - Comparação de algumas diferenças básicas entre os gravímetros LCR modelos D e G.	31
Tabela 3 - Pontos rejeitados em cada circuito.	46
Tabela 4 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 1.	47
Tabela 5 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 2.	47
Tabela 6 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 3.	48
Tabela 7 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 4.	48

Tabela 8 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 5. 49

Tabela 9 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 6. 49

Tabela 10 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 7. 50

Tabela 11 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 8. 50

Tabela 12 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 9. 51

Tabela 13 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 10. 51

Tabela 14 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da

influência da massa do edifício (em mGal) para o
circuito 1. 53

Tabela 15 - Correção da influência da massa do edifício
(em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da
influência da massa do edifício (em mGal) para o
circuito 2. 53

Tabela 16 - Correção da influência da massa do edifício
(em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da
influência da massa do edifício (em mGal) para o
circuito 3. 54

Tabela 17 - Correção da influência da massa do edifício
(em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da
influência da massa do edifício (em mGal) para o
circuito 4. 54

Tabela 18 - Correção da influência da massa do edifício
(em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da
influência da massa do edifício (em mGal) para o
circuito 5. 55

Tabela 19 - Correção da influência da massa do edifício
(em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da
influência da massa do edifício (em mGal) para o

circuito 6.	55
Tabela 20 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 7.	56
Tabela 21 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 8.	56
Tabela 22 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 9.	57
Tabela 23 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 10.	57
Tabela 24 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 1.	61

Tabela 25 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 2. 61

Tabela 26 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 3. 62

Tabela 27 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 4. 63

Tabela 28 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 5. 64

Tabela 29 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 6. 65

Tabela 30 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 7. 66

Tabela 31 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de

leituras gravimétricas para o circuito 8.	67
Tabela 32 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 9.	67
Tabela 33 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e de paquímetro sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 10.	68
Tabela 34 - Valores médios dos gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e com alturas de paquímetro com seus respectivos σ e σ_n sem a rejeição das leituras com $\sigma > 0,005$ mGal.	68
Tabela 35 - Valores médios dos gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta e com alturas de paquímetro com seus respectivos σ e σ_n com a rejeição das leituras com $\sigma > 0,005$ mGal.	69
Tabela 36 - Resultados obtidos mediante a combinação entre todos os pontos.	78

LISTA DE FIGURAS

	pag.
Figura 1 - Sistema de coordenadas retangulares geocêntrico.	4
Figura 2 - Sistema contínuo de massas atrativas.	5
Figura 3 - Sistema de coordenadas retangulares topocêntrico.	18
Figura 4 - Croquis em planta baixa com a localização da escada utilizada nas medições.	28
Figura 5 - Croquis em corte vertical do edifício da administração no Centro Politécnico, contendo a escadaria com a localização dos pontos utilizados nas medições.	30
Figura 6 - Falta de verticalidade do paquímetro no instante da medição.	35
Figura 7 - Influência de uma laje representada por um prisma horizontal perpendicular, em um ponto de medida P, com coordenadas u, v, w , em um sistema de coordenadas retangulares.	42
Figura 8 - Localização das lajes em relação ao sistema de coordenadas retangulares adotado.	44
Figura 9 - Influência das lajes no ponto 01 do circuito 1.	58
Figura 10 - Influência das lajes no ponto 21 do	

circuito 1.	58
Figura 11 - Influência das lajes no ponto 31 do circuito 1.	59
Figura 12 - Influência das lajes no ponto 41 do circuito 1.	59
Figura 13 - Variação do GVG - circuito 1.	70
Figura 14 - Variação do GVG - circuito 1.	70
Figura 15 - Variação do GVG - circuito 2.	71
Figura 16 - Variação do GVG - circuito 2.	71
Figura 17 - Variação do GVG - circuito 3.	72
Figura 18 - Variação do GVG - circuito 3.	72
Figura 19 - Variação do GVG - circuito 4.	73
Figura 20 - Variação do GVG - circuito 4.	73
Figura 21 - Variação do GVG - circuito 6.	74
Figura 22 - Variação do GVG - circuito 6.	74
Figura 23 - Variação do GVG - circuito 7.	75
Figura 24 - Variação do GVG - circuito 7.	75
Figura 25 - Variação do GVG - circuito 8.	76
Figura 26 - Variação do GVG - circuito 8.	76

Figura 27 - Variação do GVG - circuito 10.

77

Figura 28 - Variação do GVG - circuito 10.

77

LISTA DOS PRINCIPAIS SÍMBOLOS

\vec{g} :	vetor gravidade
\vec{F} :	vetor força de atração
\vec{c} :	vetor força centrífuga
F:	módulo da força de atração
k:	constante gravitacional
w:	velocidade angular de rotação da Terra
g:	módulo do vetor aceleração da gravidade
γ :	gravidade teórica
Φ :	latitude geodésica
C_F :	redução free-air
$\frac{\partial g}{\partial h}$:	gradiente vertical da gravidade
GVG:	gradiente vertical da gravidade
$\frac{\partial \gamma}{\partial \eta}$:	gradiente normal da gravidade teórica
δ :	densidade
γ_e :	gravidade teórica no equador
a:	semi-eixo maior do elipsóide
α :	achatamento do elipsóide
V:	potencial gravitacional
Q:	potencial centrífugo de rotação
W:	geopotencial
HP:	alturas de planta
HQ:	alturas de paquímetro

CY: fator de correção da deriva dinâmica
 Z(P): componente vertical da atração das massas do
 edifício sobre um ponto P
 ρ : massa específica
 \bar{x} : média aritmética
 σ^2 : desvio padrão de uma observação isolada
 σ_n^2 : desvio padrão da média
 σ_n : variância
 GO: correção da força de maré
 XLEIFV: leituras gravimétricas em mGal
 VLEI: leituras gravimétricas corrigidas da força de
 maré
 XF: leituras corrigidas da deriva dinâmica

INTRODUÇÃO

Pesquisas realizadas por diversos autores mostram variações significativas na determinação de gradientes verticais da gravidade, em relação ao valor teórico calculado sobre o elipsóide de revolução.

A amplitude dessas variações, causadas por fatores como variações em latitude, altitude, e a não homogeneidade na densidade da crosta terrestre, podem afetar suas já bem conhecidas aplicações em Geodésia, relativas à anomalia free-air, como por exemplo, a correção da gravidade no nivelamento geométrico, o cálculo de deflexões da vertical e a determinação do geóide ou outra superfície equipotencial qualquer.

Também é conveniente mencionar a necessidade da definição de gradientes verticais da gravidade em levantamentos gravimétricos absolutos, pela obrigatoriedade de sua determinação para a redução ao solo das medidas feitas por gravímetros absolutos, que têm aproximadamente 1 m de altura (por exemplo, determina-se a gravidade a 0,80 m acima do solo com o gravímetro Jilag 3).

Além disto, cabe citar que levantamentos utilizando-se de gradientes verticais da gravidade, consistem num método preliminar de prospecção para

localização de massas anômalas a baixa profundidade , mais econômico que o método sísmico e com algumas vantagens sobre o levantamento gravimétrico usual, como por exemplo a independência entre estações ocupadas.

Atendo-se apenas às suas aplicações geodésicas, este trabalho se dedica ao gradiente vertical da gravidade, face a inexistência de pesquisas sobre ele, no país.

Inicialmente, pensou-se em realizar medidas para sua obtenção, no Centro Politécnico, utilizando-se de um gravímetro associado a um tripé. Posteriormente, já que a sua variação ao longo de uma mesma vertical não é linear, e que para se obter informações a respeito dessa não linearidade seriam necessárias distâncias maiores entre estações, optou-se pela realização das medidas gravimétricas na escadaria do edifício da administração. Com isto, criaram-se dez circuitos "verticais" independentes, que possibilitam diferentes combinações entre estações, proporcionando a obtenção de mais de um valor do gradiente vertical da gravidade por vertical.

O capítulo 1 discorre sobre alguns conceitos relativos à teoria da gravidade, voltados ao gradiente vertical da gravidade.

O capítulo 2, além de conter um breve histórico

sobre a determinação de gradientes verticais da gravidade, apresenta os três meios existentes para esta determinação: cálculo, medida direta e medida indireta.

No capítulo 3 estão descritos em detalhes os procedimentos práticos executados. O fato das medidas gravimétricas terem sido executadas em um edifício gera algumas peculiaridades quanto às correções a serem aplicadas às leituras gravimétricas, i.e., além das usuais como a força de atração luni-solar e deriva, deve-se considerar a influência da massa do edifício em questão, ao mesmo tempo que não se aplica a correção de Bouguer, pois esta elimina o efeito das "massas topográficas", no presente caso, desconsideradas.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, ou seja, as leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica, as leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício, e os gradientes verticais da gravidade, com suas respectivas médias aritméticas, desvios padrões para uma observação isolada e para a média, e variância, por circuito.

E, finalmente o Capítulo 5 apresenta as conclusões do presente trabalho.

1 - TEORIA DA GRAVIDADE - NOÇÕES INTRODUTÓRIAS

1.1 - Gravidade

Tomando-se um sistema de coordenadas retangulares cuja origem é o centro de massa da Terra, cujo eixo z é o eixo de rotação terrestre médio, em que o eixo x é paralelo ao plano do meridiano de Greenwich, e o eixo y é tal que o sistema seja dextrógiro, um ponto P de massa unitária, localizado na superfície fica definido pelas coordenadas $P(x,y,z)$.

Obtém-se o vetor gravidade (\vec{g}) nesse ponto (fig. 1), mediante a soma vetorial da força de atração (\vec{F}) exercida

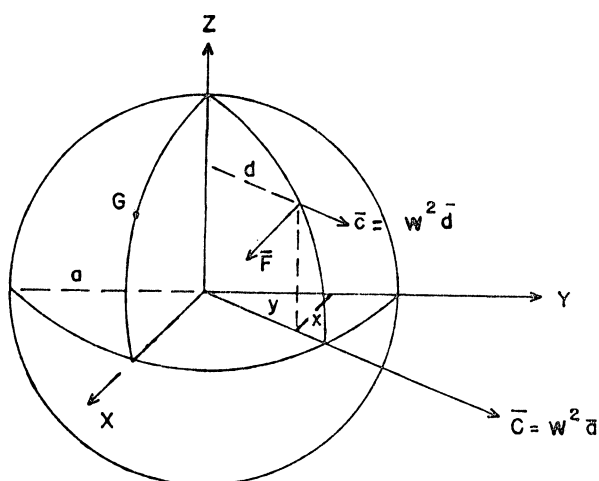


Figura 1 - Sistema de coordenadas retangulares geocêntrico

por toda massa da Terra sobre esse ponto, com a força centrífuga (\vec{c}) consequente da rotação terrestre

$$\vec{g} = \vec{F} + \vec{c} \quad (1.1)$$

1.1.1 - Força de atração

De acordo com a lei da gravitação universal de Newton, o módulo dessa força de atração (\vec{F}), para um sistema contínuo de massas atrativas, e considerando-se o ponto atraído (P) com massa unitária, é dado por

$$F = k \int_m \frac{dm}{l^2} \quad (1.2)$$

onde k é a constante gravitacional ($k = 6672 \cdot 10^{-14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$), e l é a distância que separa o ponto atraído em questão, com massa unitária, de um certo elemento infinitesimal de massa dm .

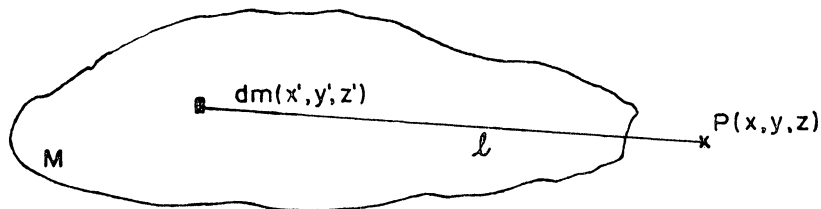


Figura 2 - Sistema contínuo de massas atrativas

$$\therefore l^2 = (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2 \quad (1.3)$$

Vetorialmente, temos

$$\vec{F} = -k \int \frac{1}{l^3} \left[(x-x')\vec{i} + (y-y')\vec{j} + (z-z')\vec{k} \right] dm \quad (1.4)$$

O sinal negativo na fórmula acima é devido a \vec{l} e \vec{F} terem sentidos opostos.

1.1.2 - Força centrífuga

A força centrífuga (\vec{c}) por unidade de massa, no ponto $P(x,y,z)$ é dada por:

$$\vec{c} = \omega^2 \vec{d} \quad (1.5)$$

onde ω é a velocidade angular de rotação da Terra, e \vec{d} a distância ao eixo de rotação

$$\vec{d} = x\vec{i} + y\vec{j} \quad (1.6)$$

1.2 - Anomalias da gravidade

Sabe-se que os objetivos da Geodésia são a determinação da forma e dimensões da Terra e de parâmetros definidores do campo da gravidade.

A Geodésia Física utiliza-se das anomalias da

gravidade para calcular a ondulação geoidal (i.e. separação entre o geóide e o elipsóide) através da integral de Stokes, por exemplo, e o desvio da vertical (i.e. ângulo formado entre a normal e a vertical) através das fórmulas de Vening-Meinesz.

Uma anomalia da gravidade (Δg) é definida por:

$$\Delta g = g_{\text{geóide}} - \gamma_{\text{elipsóide}} \quad (1.7)$$

sendo

g o valor do módulo do vetor aceleração da gravidade, determinado por observações sobre a superfície física da Terra;

γ o valor da gravidade teórica, calculada sobre um modelo com, por exemplo, a Fórmula Internacional da Gravidade para o SGR-67 (com precisão de 2.^a ordem)

$$\gamma_{67} = 978032 \left(1 + 0,0053024 \text{sen}^2 \Phi - 0,0000059 \text{sen}^2 2\Phi \right)$$

$$(1.8)$$

A fórmula acima fornece o valor da gravidade teórica γ em miligals (mGal), um sub-múltiplo do Gal, unidade comumente utilizada para o módulo do vetor aceleração da

gravidade, que possui as seguintes relações com as unidades do Sistema Internacional (S.I.):

$$1 \text{ Gal} = \text{ms}^{-2} \times 10^{-2}$$

$$1 \text{ mGal} = \text{ms}^{-2} \times 10^{-5} = 1 \text{ Gal} \times 10^{-3}$$

$$1 \text{ } \mu\text{Gal} = \text{ms}^{-2} \times 10^{-8} = 1 \text{ Gal} \times 10^{-6} = 10 \text{ Nms}^{-2}$$

1.2.1 - Correção Free-air

Voltando à definição de anomalia da gravidade, equação (1.7), observa-se que o módulo do vetor aceleração da gravidade (\vec{g}) é determinado sobre a superfície física da Terra, mas, precisa-se desse valor sobre o geóide, que é a superfície equipotencial do campo da gravidade que mais se aproxima do nível médio dos mares, não perturbado, prolongado através dos continentes. Então, para a redução do valor de g determinado na superfície física da Terra a g no geóide, introduz-se a "redução free-air", ou "redução do ar livre", ou "redução de Faye", dada por

$$C_F = \frac{\partial g}{\partial h} \times h \quad (1.9)$$

onde $\frac{\partial g}{\partial h}$ é o gradiente vertical da gravidade (GVG), representando a taxa de variação de \vec{g} ao longo da vertical e h é a altitude ortométrica da estação gravimétrica.

Pelo fato de não conhecermos o gradiente vertical da gravidade (GVG) com precisão, este comumente é substituído pelo gradiente normal (ou teórico) da gravidade ($\partial\gamma/\partial\eta$), um valor calculado para o modelo elipsóidico e que pode ser adotado para a Terra como um todo.

1.2.1.1 - Gradiente normal da gravidade teórica

A equação

$$\frac{\partial g}{\partial h} = -2gJ + 4k\pi\delta - 2\omega^2 \quad (1.10)$$

devida a Bruns [01], onde

J é a curvatura média das superfícies equipotenciais, em um determinado ponto do elipsóide, definida como a média das curvaturas de duas seções normais perpendiculares entre si, no mesmo ponto;

δ é a densidade do corpo;

aplicada ao campo da gravidade normal com $\delta=0$, ou seja, exteriormente às massas atraentes, fornece:

$$\frac{\partial\gamma}{\partial\eta} = -2\gamma J - 2\omega^2 \quad (1.11)$$

mas,

$$J = -1/2 \left[1/M + 1/N \right] \quad (1.12)$$

$$M = \frac{a (1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad (1.13)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}} \quad (1.14)$$

$$m = a \omega^2 / \gamma_e \quad (1.15)$$

$$\therefore \omega^2 = m \gamma_e / a \quad (1.16)$$

Substituindo (1.12), (1.13), (1.14) e (1.16) em (1.11), chega-se à chamada "fórmula rigorosa" para o cálculo do gradiente normal da gravidade $|\alpha z|$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \eta} = - \frac{2\gamma}{a} \left[1 + \alpha - 2 \alpha \sin^2 \Phi + m \right] \quad (1.17)$$

Calculando-se $\frac{\partial \gamma}{\partial \eta}$ para, por exemplo, as

latitudes 0° , 45° e 90° , considerando (1.8), (1.15) e o SGR-67 com

$a = 6.378.160,00$ m (semi-eixo maior do elipsóide);

$\alpha = 1/298,25$ (achatamento do elipsóide);

$\omega = 7,292115146 \text{ rad s}^{-1}$ (velocidade angular de rotação da Terra);

obtém-se

$$\text{para } \phi = 0^\circ \rightarrow \frac{\partial \gamma}{\partial \eta} = - 0,3088 \text{ mgal/m}$$

$$\text{para } \phi = 45^\circ \rightarrow \frac{\partial \gamma}{\partial \eta} = - 0,3086 \text{ mgal/m}$$

$$\text{para } \phi = 90^\circ \rightarrow \frac{\partial \gamma}{\partial \eta} = - 0,3083 \text{ mgal/m}$$

daí, adotar-se para $\frac{\partial \gamma}{\partial \eta}$ o valor médio de $-0,3086 \text{ mgal/m}$.

Esse valor nos mostra que a gravidade normal, teoricamente, decresce $0,3086 \text{ mGal}$ a cada metro de altitude, em média.

1.3 - Potencial

1.3.1 - Potencial gravitacional

A função escalar definida por

$$V = k \int_m \frac{dm}{l} = \int_v \frac{\delta}{l} dv \quad (1.18)$$

onde $dv=dx'dy'dz'$ é um elemento infinitesimal de volume, representa o potencial gravitacional.

As derivadas do potencial da gravidade em relação aos eixos coordenados proporcionam as componentes da força de atração segundo os mesmos eixos.

$$\frac{\partial V}{\partial x} = k \frac{\partial}{\partial x} \int_m \frac{dm}{l} = k \int_m \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{l} \right) dm \quad (1.19)$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} = -k \int_m \frac{x - x'}{l^3} dm$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = -k \int_m \frac{y - y'}{l^3} dm \quad (1.20)$$

$$\frac{\partial V}{\partial z} = -k \int_m \frac{z - z'}{l^3} dm$$

Então,

$$\vec{F} = \frac{\partial V}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \vec{k} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k} \quad (1.21)$$

ou

$$\vec{F} = \text{grad } V = \vec{\nabla} V \quad (1.22)$$

onde $\vec{\nabla}$ é o vetor simbólico

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (1.23)$$

Em outras palavras, o gradiente da função escalar potencial gravitacional (V) fornece a força de atração.

Derivando novamente as equações (1.20) obtém-se:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = k \int_m \left(\frac{1}{l^3} - \frac{3(x-x')^2}{l^5} \right) dm$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = k \int_m \left(\frac{1}{l^3} - \frac{3(y-y')^2}{l^5} \right) dm \quad (1.24)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = k \int_m \left(\frac{1}{l^3} - \frac{3(z-z')^2}{l^5} \right) dm$$

cuja soma fornece

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = k \int_m \left(\frac{3}{l^3} - \frac{3l^2}{l^5} \right) dm = 0$$

ou seja, o potencial gravitacional é uma função harmônica ¹, pois satisfaz a equação de Laplace

$$\Delta V = 0 \quad (1.25)$$

onde Δ é o operador de Laplace

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (1.26)$$

1.3.2 - Potencial centrífugo

O potencial centrífugo de rotação (Q) é definido por:

$$Q = 0,5 w^2 (x^2 + y^2) \quad (1.27)$$

sendo

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = w^2 x = c_x$$

$$\frac{\partial Q}{\partial y} = w^2 y = c_y \quad (1.28)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial z} = 0 = c_z$$

$$\therefore \vec{c} = \text{grad } Q = \vec{\nabla} Q \quad (1.29)$$

¹Atendo-se, neste trabalho, somente a pontos externos às massas atraentes.

e, uma derivada segunda das equações (1.28) fornece

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = w^2$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} = w^2 \quad (1.30)$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} = 0$$

cuja soma é

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} = 2w^2 = \Delta Q \quad (1.31)$$

∴ o potencial centrífugo não é uma função harmônica, pois seu laplaciano não é nulo.

1.3.3 - Geopotencial

O geopotencial, ou o potencial da Terra verdadeira, resulta da adição entre os potenciais gravitacional e centrífugo

$$W = V + Q \quad (1.32)$$

e o vetor gradiente de W é o vetor gravidade

$$\vec{g} = \text{grad } W = \frac{\partial W}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial W}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial W}{\partial z} \vec{k} = g_x \vec{i} + g_y \vec{j} + g_z \vec{k}$$

(1.33)

Quanto ao Laplaciano de W, este não pode ser nulo, pois

$$\Delta W = \Delta V + \Delta Q = 2w^2 \quad (1.34)$$

o que demonstra que o geopotencial também não é uma função harmônica.

1.3.4 - Tensor gradiente da gravidade

Com as derivadas parciais segundas de $W = W(x,y,z)$ podemos escrever uma matriz simétrica de 3.^a ordem chamada de tensor gradiente da gravidade (E):

$$E = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 W}{\partial z \partial x} & \frac{\partial^2 W}{\partial z \partial y} & \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial g_x}{\partial x} & \frac{\partial g_x}{\partial y} & \frac{\partial g_x}{\partial z} \\ \frac{\partial g_y}{\partial x} & \frac{\partial g_y}{\partial y} & \frac{\partial g_y}{\partial z} \\ \frac{\partial g_z}{\partial x} & \frac{\partial g_z}{\partial y} & \frac{\partial g_z}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (1.35)$$

É usual encontrar-se, também, a seguinte notação:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = W_{xx}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} = W_{xy} \quad (1.36)$$

resultando:

$$E = \begin{bmatrix} W_{xx} & W_{xy} & W_{xz} \\ W_{yx} & W_{yy} & W_{yz} \\ W_{zx} & W_{zy} & W_{zz} \end{bmatrix} \quad (1.37)$$

Observe-se aqui, que o traço da matriz E representa o Laplaciano do geopotencial (eq. 1.34)

$$\text{tr}(E) = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \Delta W = \nabla^2 W \quad (1.38)$$

Os elementos W_{xz} e W_{yz} , da matriz E são os gradientes horizontais da gravidade, nas direções OX e OY respectivamente. E,

$$W_{zz} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{\partial g}{\partial z} = \frac{\partial g}{\partial h} \quad (1.39)$$

é o gradiente vertical da gravidade.

Neste caso então, é adotado um sistema de coordenadas topocêntrico, fixo à Terra, com o eixo OZ coincidindo com a vertical, sentido positivo para o zênite, e os eixos OX e OY normalmente orientados para o norte e para o leste, respectivamente.

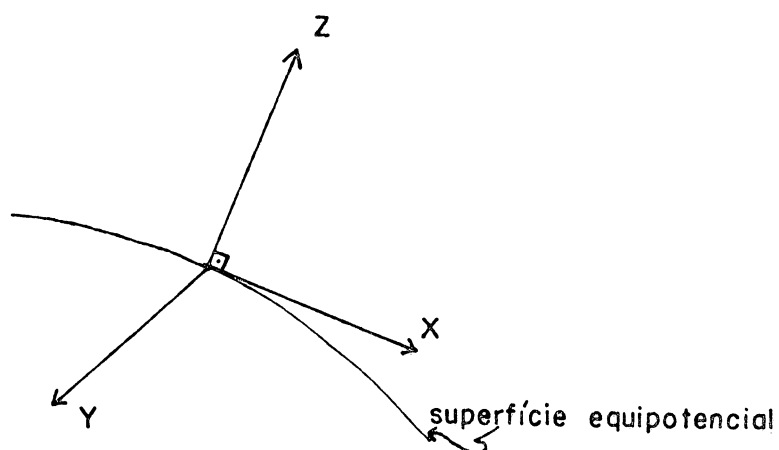


Figura 3 - Sistema de coordenadas retangulares topocêntrico

Pelo fato de \vec{g} e o versor do eixo OZ , terem sentidos opostos, surge o sinal negativo:

$$W_{zz} = - \frac{\partial g}{\partial z} \quad (1.40)$$

1.4 - Unidade Eötvös (E)

Os gradientes da gravidade representam uma variação de gravidade em relação a uma variação de distância, portanto no S.I. a unidade natural seria a variação de 1ms^{-2} de aceleração por metro de distância. Multiplicando essa unidade por 10^{-9} , tem-se a unidade Eötvös, cujo nome é devida ao Barão Roland von Eötvös (1848-1919), um físico húngaro, que foi o pioneiro na medida de gradientes da gravidade.

$$1 \text{ E} = \frac{\text{m s}^{-2}}{\text{m}} \times 10^{-9} = \text{s}^{-2} \times 10^{-9} = 1 \text{ mGal/m} \times 10^{-4}$$

Então, por exemplo, o gradiente normal da gravidade é 0,3086 mGal/m ou 3086 E.

É comum, também, encontrar-se o símbolo EU, que significa "Eötvös Unit".

2 - DETERMINAÇÃO DO GRADIENTE VERTICAL DA GRAVIDADE

2.1 - Breve Histórico

Os primeiros valores observados de gradientes verticais da gravidade datam do final do século passado e foram obtidos diretamente através de balanças de torção.

A partir de 1938 quando S. Hammer publicou suas observações utilizando um gravímetro, este passou a ser o instrumento mais utilizado na determinação de gradientes verticais da gravidade, na chamada medida indireta.

A tabela 1 mostra alguns valores observados de gradientes verticais da gravidade, a título ilustrativo.

Pesquisador	ano	Δh (m)	GVG (mgal/m)	instrumento
Jolly 03	1881	21,018	-,295	balança
Thiesen 04	1890	11,486	-,303	balança
Scheel e Die- sselhorst 05	1895	29,750	-,289	balança
Richar e Kriegar-Men - zel 06	1898	2,264	-,285	balança
Erwin Groten 07	1975	0,30 a 0,80	-,306	micro-balan- ça Sartorius
S. Hammer 08	1938	290,787	-,3128 \pm ,0003 Empire St. Bld.	gravímetro
St. Thyssen- Bornemisza 09	1943	0,5	-,310 \pm ,006	gravímetro
Houston Tech. Lab. 10	1953	3,415	-,3063 \pm ,0037	gravímetro
St. Thyssen - Bornemisza e Stackler 11	1955	3,825	-,3096 \pm ,0010 Alberta, Canadá	gravímetro
N. Kumagai, E. Abe e Y. Yoshimura 12	1955 a 1956	± 10	Hiroshima: -,293 a -,314 Kyoto: -,287 a -,309 Nara: -,298 a -,316 Kizu: -,319 Costa do Pa- cífico da Pe- nínsula Kii: -,304 a -,369 Mt. Fuji: -,269 a -,329 Hikone: -,311 a -,306	gravímetro Worden (sensibili- dade: 0,02 mgal)

continua na página seguinte

continuação

Pesquisador	ano	Δh (m)	GVG (mgal/m)	instrumento
H. Bodemüller 13	1958 a 1959	± 10	Harz: -0,21 a -0,42 Black Forest: -0,17 a -0,44	gravímetro AG-1
Zbigniew J. Fajklewicz 14	1971	3	Halszka: - ,3072 a -,3132	gravímetro Sharpe
C. A. Ager e J. O. Liard 15	1977	0,876	-,2746 \pm ,0185 (sobre carvão) British Colum- bia, Canadá	gravímetro LCR-D
R. Brein 16	1976	1,5	Fennoscandian Gravity Line: -0,305	gravímetro LCR-G
M. Ogier e R. Millon 17	1977. 1981. 1984. 1985. 1985. 1986. 1986. 1981. 1986.		no pilar A3 de Sévres: -,273 \pm ,003 -,2836 \pm ,0016 -,2932 -,2953 \pm ,0012 -,2925 -,2884 -,2881 em Orleans: -,272 \pm ,0017 -,2694 \pm ,0042 -,2733 \pm ,0036	gravímetros LCR modelos D e G
M. Schnull, R. Roder e G. Wenzel 18	1983. 1984.		estação Hannover (obs. convencionais) -,2743 \pm ,0009 -,2723 \pm ,0009 -,2659 \pm ,0005 -,2663 \pm ,0005 -,2692 \pm ,0006 -,2688 \pm ,0005	... LCR-G79 ... LCR-G298 ... LCR-D8 ... LCR-D14 ... LCR-D23 ... LCR-G79
E. Groten 19	1975	1 e 1,5	-,317 \pm ,0025	LCR-G

Tabela 1 - Alguns valores observados de gradientes verticais da gravidade.

2.2 - Determinação do gradiente vertical da gravidade por cálculo

A falta de homogeneidade nas densidades das rochas, causa variações tanto nas anomalias da gravidade como nos gradientes verticais anômalos.¹

A teoria do potencial gravitacional oferece algumas possibilidades para o cálculo dessas variações, baseadas, em sua maioria, na hipótese de que somente massas anômalas próximas perturbam os gradientes verticais da gravidade $|z_0|$, considerando essas massas como esferas ou cilindros.

Pelo fato da medida indireta de gradientes verticais da gravidade apresentar resultados mais reais e ser o alvo principal deste trabalho, não nos aprofundaremos no cálculo de gradientes verticais da gravidade.

2.3 - Medida direta de gradientes verticais da gravidade

As tentativas de medida direta do gradiente vertical da gravidade, utilizando balanças, não têm fornecido resultados satisfatórios. Embora a teoria dessa medida tenha sido cuidadosamente elaborada, dificuldades técnicas para concluir o instrumento adequado, ainda não foram superadas.

¹ diferença entre o gradiente normal da gravidade e o gradiente vertical da gravidade.

O conceito de Gradiometria não é novo. Já no ano de 1880 o Barão Roland von Eötvös desenvolveu uma balança de torção, que proporciona os gradientes horizontais da gravidade, que auxiliam na localização de estruturas geológicas anômalas. Em 1915, o instrumento foi utilizado para explorações geofísicas, e em 1922, nos E.U.A., para prospecção de óleo.

Devido à balança de torção requerer um longo tempo para executar uma única observação, o gravímetro, mais portátil, logo a substituiu na determinação de gradientes verticais da gravidade, com a medida indireta (item 2.4).

Outros experimentos, também utilizando balanças, mas estas agora proporcionando valores de gradientes verticais da gravidade, foram conduzidas por Jolly (1881), Thiesen (1890), Scheel e Diesselhorst (1895). Embora os instrumentos utilizados nesses experimentos tivessem alta sensibilidade, os valores observados (ver tabela 1) eram consistentemente menores que os calculados teoricamente.

Atualmente, a Gradiometria sofre um renascimento, face à sua aplicação na navegação inercial.

O sistema de navegação inercial, utiliza giroscópios para manter uma superfície de referência conhecida, onde acelerômetros medem acelerações quando forças não

gravitacionais causam mudanças na direção e velocidade do veículo.

As primeiras versões bem sucedidas dos sistemas de navegação inercial são anteriores a 1950, e sua "conclusão" tem sido bloqueada, não pela precisão de giroscópios e acelerômetros, mas pelo inadequado conhecimento do campo da gravidade da Terra.

De acordo com o "Princípio da Equivalência" de Einstein, um corpo de prova de um acelerômetro reage identicamente às acelerações inerciais e gravitacionais. Então, um navegador inercial deve ter um modelo matemático do campo da gravidade, a fim de separar essas acelerações. As primeiras e atuais versões de navegadores inerciais utilizam um elipsóide de referência para descrever o campo da gravidade da Terra, mas, como a precisão dos componentes inerciais evoluiu, aumentou a necessidade de conhecimento mais detalhado do campo da gravidade. O elipsóide de referência não avalia mudanças locais da gravidade, causadas por feições geológicas e variações de densidade dentro da crosta terrestre. Essas mudanças locais da gravidade são os gradientes da gravidade, que definem o tensor gradiente da gravidade (derivadas parciais segundas de W , eq. 1.35)

Se, pudermos medir gradientes da gravidade em um veículo, integrando-os diretamente ao longo do caminho

percorrido, produziremos valores da gravidade "real time".

Face a esse interesse na medida dinâmica da gravidade, três empresas norte-americanas vinculadas à navegação inercial, Bell Aerospace, Draper Laboratory e Hughes Aircraft, estão executando projetos para o desenvolvimento de gradiômetros.

2.4 - Medida indireta de gradientes verticais da gravidade

O chamado método indireto de obtenção de GVGs, consiste em conduzir medidas da gravidade em duas alturas diferentes da mesma vertical. Assim, obtém-se o GVG pela razão das diferenças entre os valores medidos da gravidade e a distância que separa os dois pontos de medida, ou seja

$$\frac{\partial g}{\partial h} \approx \frac{\Delta g}{\Delta h} \quad (2.1)$$

O valor obtido de (2.1) corresponde a um ponto desconhecido, geralmente situado próximo à metade da distância entre os dois pontos de observação.

Este método tem trazido resultados satisfatórios, se todas as precauções e correções necessárias forem consideradas.

3 - OBTENÇÃO DE GRADIENTES VERTICAIS DA GRAVIDADE NO EDIFÍCIO DA ADMINISTRAÇÃO NO CENTRO POLITÉCNICO

3.1 - Introdução

Pode-se afirmar que este trabalho originou-se no artigo de Kuo, J.T. et alli [21] e aprofundou-se em conversas com o Prof. Camil Gemael e com o Prof. Erwin Groten.

Frente à idéia de se determinar um valor do gradiente vertical da gravidade em um edifício, passou-se a pensar qual o edifício a ser utilizado. Por questões práticas, optou-se pelo prédio da administração no Centro Politécnico, acreditando-se que o fato de não possuir mais que quatro andares não influiria na qualidade do trabalho.

A fim de se obter um maior número de pontos em mesmas verticais, possibilitando assim uma variedade de combinações, resolveu-se efetuar as medidas da gravidade, e consequentemente das alturas entre os pontos, a cada dois degraus, aproximadamente, na escadaria do edifício escolhido. Com isso, criar-se-iam "circuitos verticais", descritos em detalhes no item 3.2.

3.2 - Determinação do local dos pontos a serem gravimetrados

De posse das plantas e respectivos cortes do edifício da administração, iniciou-se a escolha dos locais dos pontos a serem ocupados.

O edifício conta com duas escadarias, conforme croquis na fig. 4, ambas em posições simétricas em relação ao conjunto, inclusive quanto aos elevadores. Escolheu-se a do lado direito, devido ao fato da porta de ligação com o subsolo deste lado, ficar permanentemente fechada, o que diminui a passagem de pessoas.

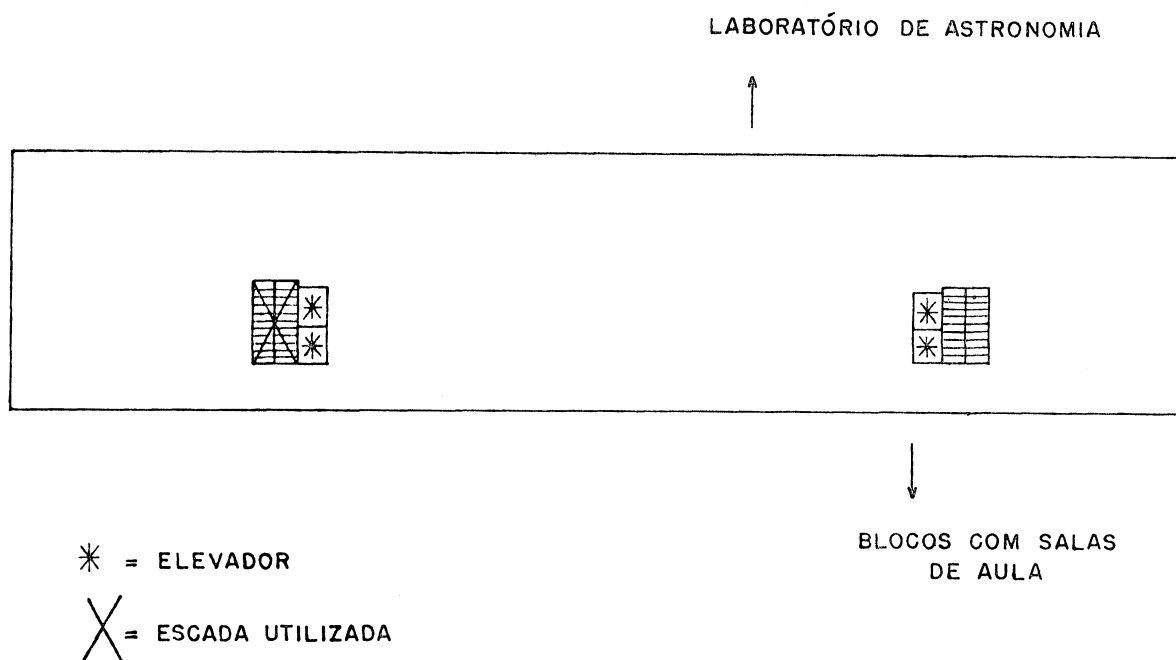


Figura 4 - Croquis em planta baixa com a localização da escada utilizada nas medições.

Optou-se pelo lado esquerdo, para quem sobe a escada, como o melhor para se efetuar leituras gravimétricas, isto porque é situado junto a uma parede, de baixo a cima.

Escolhida então, a escada e o lado em que se fariam as observações, os degraus a serem utilizados foram numerados, de 1 a 59, para garantir que não houvesse nenhum engano no momento da medição (fig. 5).

Os 59 pontos dispostos na fig. 5 formam 10 (dez) "circuitos verticais", i.e., cada um desses circuitos estaria, afora erros aleatórios, em uma mesma vertical, conforme descrição a seguir:

- 1.º circuito: pontos 1, 21, 31, 41.
- 2.º circuito: pontos 2, 22, 32, 42.
- 3.º circuito: pontos 3, 9, 15, 23, 33, 43, 51, 57.
- 4.º circuito: pontos 4, 10, 16, 24, 34, 44, 52, 58.
- 5.º circuito: pontos 5, 11, 17, 25, 35, 45, 53, 59.
- 6.º circuito: pontos 6, 12, 18, 26, 36, 46, 54.
- 7.º circuito: pontos 7, 13, 19, 27, 37, 47, 55.
- 8.º circuito: pontos 8, 14, 28, 38, 48, 56.
- 9.º circuito: pontos 29, 39, 49.
- 10.º circuito: pontos 20, 30, 40, 50.

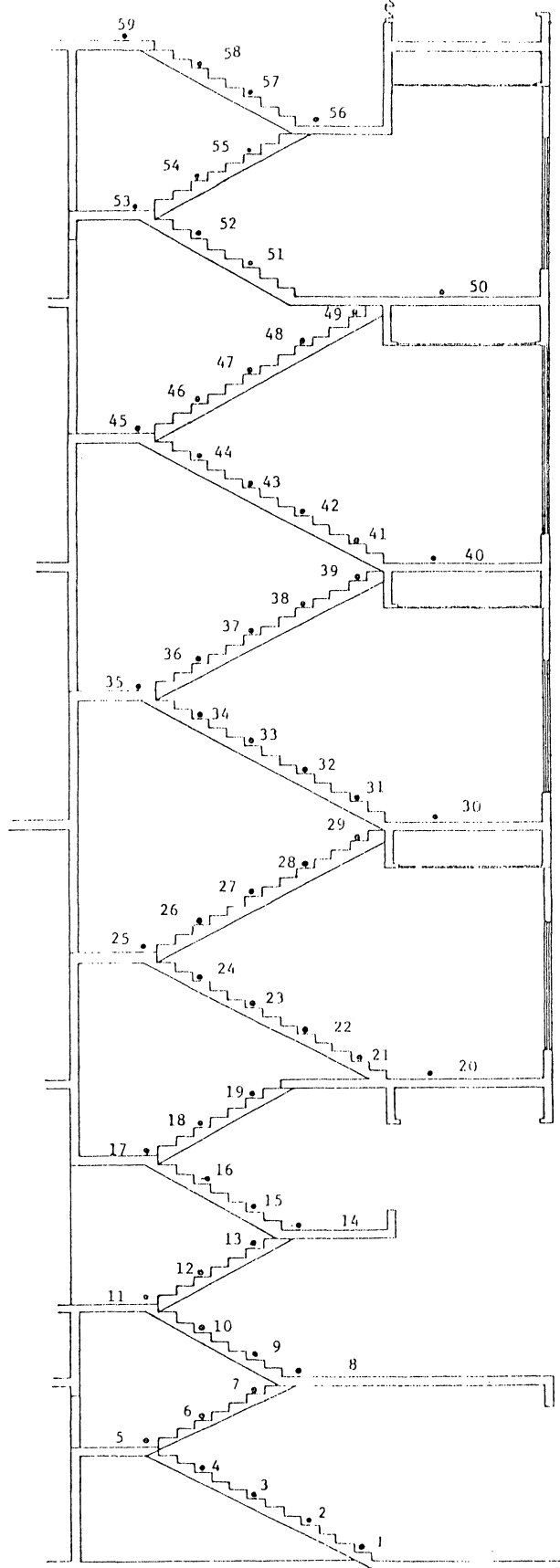


Figura 5 - Croquis em corte vertical do edifício da administração no Centro Politécnico, contendo a escadaria com a localização dos pontos utilizados nas medições.

Note-se que, por exemplo, os pontos 3 e 7, ou 10 e 12 ou ...n outros, aparentam pelo corte da escada, fig. 5, pertencer à mesma vertical, o que na realidade não ocorre.

3.3 - Equipamento utilizado

3.3.1 - Para as medidas gravimétricas

Para a realização das medidas gravimétricas foi utilizado o gravímetro Lacoste & Romberg, modelo D, número 99, cujo princípio de construção e funcionamento assemelha-se ao modelo G, também da Lacoste & Romberg [22]. Apresenta, contudo, diferenças no que tange ao seu alcance e exatidão de leitura, e também quanto ao seu fator de calibração, conforme Tabela 2.

	Modelo D	Modelo G
alcance	200 mGal	7000 mGal
resolução	0,005 mGal	0,01 mGal
fator de calibração	único	conforme tabela

Tabela 2 - Comparação de algumas diferenças básicas entre os gravímetros LCR modelos D e G.

O fato de seu alcance não exceder 200 mGal, implica em "reset", o que não foi necessário no presente trabalho, face à pequena variação de g (não mais que 9 mGal em aproximadamente 27 m verticais).

E, admitindo a resolução leitura como 0,005 mGal,

pretende-se chegar a valores de GVGs definidos até a terceira casa decimal.

3.3.2 - Para a determinação das distâncias

A medida das distâncias verticais (alturas) entre os pontos gravimetrados, tornou-se o "calcanhar de Aquiles" desse trabalho. Como obter distâncias entre degraus, em uma escadaria?

Kuo, J. T. et alli [23], utiliza-se da planta do edifício, exemplo este, seguido aqui.

Mas, devido às incertezas em relação a este método, pensou-se em tentar obter essas alturas de outra forma, ao menos para se fazer uma comparação dos resultados obtidos.

Diante das instabilidades de medida dessas distâncias com trena, pelo vão da escada, optou-se pela utilização de um paquímetro, cuja exatidão de leitura é 0,05 mm.

E agora pergunta-se: a qualidade de obtenção dessas distâncias é compatível com a qualidade das leituras gravimétricas?

Considerando-se o gradiente normal da gravidade (0,3086 mGal/m) e a exatidão de leitura no LCR-D (0,005

mGal) é possível quantificar a exatidão com que devem ser medidas as distâncias. Se, em 1 cm (vertical) tem-se uma variação em g de 0,003086 mGal, a exatidão equivalente, em altura, para 0,005 mGal será de 1,6 cm.

3.4 - Procedimento

3.4.1 - Para a determinação das distâncias verticais

3.4.1.1 - A partir de planta

As estações (degraus) utilizadas obedecem às localizações relativas à figura 5.

Nos doze (12) primeiros lances a altura dos degraus (espelho) é de 0,1625 m e nos três (3) últimos é de 0,1694 m. Somando-se então, sucessivamente, esses espelhos, obtém-se as alturas HP, para os pontos de medida, conforme o anexo A.

Pode-se questionar aqui, a apresentação da altura de um degrau até o décimo do milímetro, em planta!

3.4.1.2 - Com paquímetro

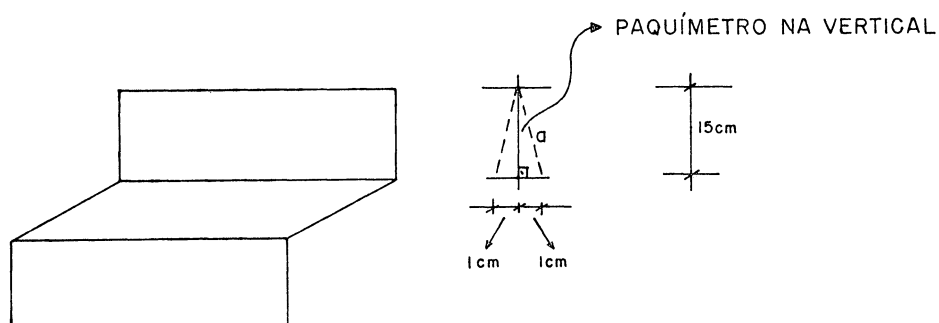
É evidente que, graças ao comprimento reduzido dos paquímetros (aproximadamente 15 cm), os espelhos dos degraus

foram medidos um a um. Tais espelhos, somados do mesmo modo que para a obtenção das alturas dos degraus através de planta, forneceram as alturas HQ, conforme anexo A.

E aqui, surgem duas questões a serem avaliadas : 1.º) existe uma horizontalidade perfeita na superfície dos degraus, tal que, ao se colocar a base do paquímetro sobre o piso de um determinado degrau, e sua extremidade de medição sobre o piso do degrau seguinte, não se acumulem erros ? 2.º) como garantir a verticalidade do paquímetro no instante da medição?

Sobre a primeira questão, admite-se que estejam sendo introduzidos erros, sem dúvida, mas, totalmente aleatórios, ora maiores, ora menores, e afora este fato, muito possivelmente as alturas obtidas deste modo representam mais a realidade do que aquelas obtidas de planta.

Sobre a 2.º questão, ilustrada na fig. 6, constata-se que a falta de verticalidade, no sentido lateral, em um (1) centímetro, ocasionaria um erro na medida correta de 0,3 mm. Se, em todos os degraus, num total de 164 medidos, essa não verticalidade ocorresse, e sempre nas mesmas proporções (acredite-se que 1 cm em 15 cm é detetável a olho nú), seria introduzido um erro de 49,2 mm ou 4,92 cm na "altura" do último degrau, o de número 59, dentro do circuito número 5. Trata-se aqui, novamente, de erros aleatórios.



$$a^2 = 15^2 + 1^2 \quad \therefore \quad a = 15,03 \text{ cm}$$

Figura 6 - Falta de verticalidade do paquímetro no instante da medição.

3.4.2 - Para a realização das medidas gravimétricas

Como já visto anteriormente, o gravímetro utilizado foi o Lacoste & Romberg, modelo D, número 99, ou simplesmente, D-99, juntamente com seu prato.

Antes de iniciar as observações propriamente ditas, foram feitos os testes de sensibilidade dos níveis longitudinal e transversal, bem como o posicionamento correto da linha de leitura (anexo B), de acordo com seu manual de operação [24].

A rigor, estes testes devem ser executados antes e

após a realização de circuitos gravimétricos de precisão, e no presente caso ainda com mais motivos, pois este gravímetro, D-99, havia sido recentemente desativado da estação de marés terrestres do Centro Politécnico, onde ocupava uma posição estacionária.

Foram iniciadas então, as medidas gravimétricas, sobre os degraus já previamente escolhidos e marcados.

A fim de tentar garantir que as observações se realizassem dentro de mesmas verticais, respeitados os circuitos já definidos, o prato era colocado sobre o degrau, de modo que encostasse tanto no espelho deste, como na parede adjacente.

Cada circuito foi medido dez (10) vezes e as leituras sempre iniciavam e terminavam no mesmo ponto (anexo C), daí a denominação "circuito", por analogia com os levantamentos gravimétricos usuais.

Observe-se que, para o cálculo de GVGs, não é necessária a obtenção de valores de gravidade, e sim de diferenças de gravidade, razão pela qual as medidas não foram ligadas, por exemplo, à estação CP-1, onde se conhece o valor de $|\vec{g}|$.

3.5 - Correções efetuadas

3.5.1 - Conversão das leituras efetuadas com o gravímetro para miligals

Os valores lidos no gravímetro apresentam-se em "unidades instrumentais" e sua conversão para a unidade mGal é feita através do fator de conversão, que no caso do D-99 é único para todo o seu alcance de leitura, e, o valor fornecido pelo fabricante, de acordo com [25] é 1,0943.

Portanto, para se obter uma leitura em miligals, simplesmente multiplica-se¹ esta por 1,0943.

No anexo E encontram-se as leituras em miligals, para o circuito 1.

3.5.2 - Correção da força de maré

Para o cálculo da atração luni-solar foi utilizado o formulário de Longman (1959), cujo programa em linguagem Fortran (anexo F), tem como autor o Prof. Carlos Aurélio Nadal.

Os dados necessários para seu cálculo são a data e a hora legal em que foi efetuada a leitura gravimétrica, a

¹Todos os cálculos aqui realizados foram efetuados através de programa em linguagem Fortran, e o programa principal utilizado encontra-se no anexo D.

latitude, a longitude e a altitude ortométrica da estação.

Apesar de se ter dez (10) circuitos diferentes, portanto dez (10) verticais, eles não distam um do outro mais que 2 m, por isso, usa-se um mesmo valor de latitude e de longitude, para todos os pontos, em todos os circuitos.

Quanto à altitude, utiliza-se também um valor único, apesar das estações variarem ao longo da escada verticalmente, pois, sendo o edifício considerado como um conjunto sobre a crosta, ele sofrerá as mesmas variações desta no seu todo.

A altitude, no solo, nas proximidades da escada é 908,00 m, obtida a partir de nivelamento geométrico por alunos do curso de Engenharia Cartográfica.

No anexo E, juntamente com as leituras em miligal, encontram-se a correção da força de maré, e a leitura corrigida da força de maré, para o circuito 1.

3.5.3 - Correção da deriva dinâmica

Cada um dos circuitos foi iniciado e concluído no mesmo ponto, com a finalidade de se corrigir a deriva dinâmica.

Tal correção é feita através do fator de correção da deriva dinâmica, dado pela razão entre a diferença de leituras (inicial e final, no mesmo ponto) em miligal, já corrigidas da força de maré, pela diferença de tempo utilizado para medir tal circuito, ou seja

$$CY = \frac{BY}{AY} \quad (3.1)$$

onde $BY = \text{leitura inicial} - \text{leitura final}$

$AY = \text{hora legal final} - \text{hora legal inicial}$

Também no anexo E estão as leituras corrigidas da deriva dinâmica, para o circuito 1.

3.5.4 - Correção da influência da massa do edifício

Neste trabalho, o desconhecimento da influência da massa do edifício sobre as medidas gravimétricas, levou à eliminação desta, isto porque, a componente vertical da atração das massas do edifício, influencia as leituras gravimétricas nele realizadas.

Smisek, Krsák e Plancár [26], apresentam um método de cálculo do efeito da componente vertical da intensidade gravitacional devido a um corpo de forma arbitrária, em um ponto P qualquer, com coordenadas u, v, w , substituindo esse

corpo por prismas finitos, (fig. 7), através das equações:

$$\begin{aligned}
 Z(P) = k \rho \sum_{i=1}^n \cos(z, n_i) & \left| x \ln \frac{b'_i + \sqrt{x^2 + r_i'^2}}{a'_i + \sqrt{x^2 + r_{i-1}'^2}} + \right. \\
 & + b'_i \ln \left[x + \sqrt{x^2 + r_i'^2} \right] - a'_i \ln \left[x + \sqrt{x^2 + r_{i-1}'^2} \right] + \\
 & + 2p'_i \left[\arctan \frac{r'_i - b'_i}{p'_i} \frac{\sqrt{x^2 + r_i'^2} - r'_i}{x} - \right. \\
 & \left. \left. \arctan \frac{r'_{i-1} - a'_i}{p'_i} \frac{\sqrt{x^2 + r_{i-1}'^2} - r'_{i-1}}{x} \right] \right|_{x_1 - u}^{x_2 - u}
 \end{aligned}$$

onde

$$k = 6672 \cdot 10^{-14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ (constante gravitacional);}$$

$$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3 \text{ (massa específica do concreto);}$$

$$a_i' = \frac{\left[y_{i-1} - v \right] \left[y_{i-1} - y_i \right] + \left[z_{i-1} - w \right] \left[z_{i-1} - z_i \right]}{\sqrt{\left[y_{i-1} - y_i \right]^2 + \left[z_{i-1} - z_i \right]^2}} ;$$

$$b_i' = \frac{\left[y_i - v \right] \left[y_{i-1} - y_i \right] + \left[z_i - w \right] \left[z_{i-1} - z_i \right]}{\sqrt{\left[y_{i-1} - y_i \right]^2 + \left[z_{i-1} - z_i \right]^2}} ;$$

$$r_{i-1}'^2 = \left[y_{i-1} - v \right]^2 + \left[z_{i-1} - w \right]^2 ;$$

$$r_i'^2 = \left[y_i - v \right]^2 + \left[z_i - w \right]^2 ;$$

$$p_i' = \frac{\left[y_{i-1} - v \right] \left[z_i - w \right] - \left[y_i - v \right] \left[z_{i-1} - w \right]}{\sqrt{\left[y_{i-1} - y_i \right]^2 + \left[z_{i-1} - z_i \right]^2}} =$$

$$= \sqrt{r_{i-1}'^2 - a_i'^2} = \sqrt{r_i'^2 - b_i'^2} ;$$

$$\cos(z, n_i) = \frac{y_{i-1} - y_i}{\sqrt{\left[y_{i-1} - y_i \right]^2 + \left[z_{i-1} - z_i \right]^2}}$$

(3.2)

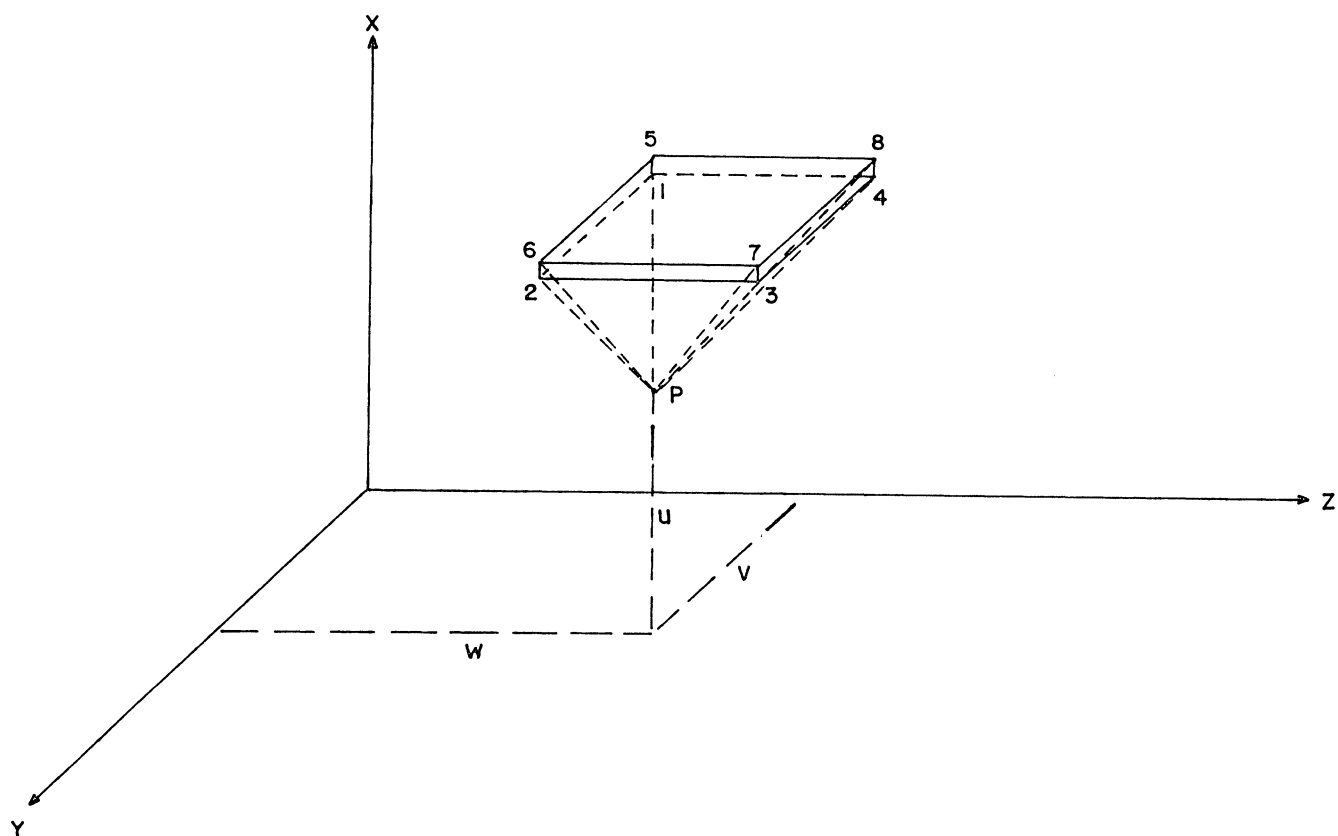


Figura 7 - Influência de uma laje representada por um prisma horizontal reto, em um ponto de medida P, com coordenadas u, v, w em um sistema de coordenadas retangulares.

A fim de tornar possível a aplicação do conjunto de equações (3.2) foi necessário efetuar algumas simplificações e considerações, descritas a seguir:

1º) Foi calculada apenas a influência das lajes nas leituras gravimétricas, desconsiderando-se vigas e colunas, como também paredes, móveis, etc.

2º) Como o método exige a substituição do corpo por prismas, considerou-se cada uma das lajes do edifício como

um prisma horizontal reto; (fig. 8)

3º) Havendo a necessidade de se obter coordenadas cartesianas tridimensionais, tanto dos cantos das lajes, quanto dos pontos de medida, arbitrou-se um sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais, conforme fig. 8;

4º) O fato de tal sistema ser levógiro ou dextrógiro, bem como o sentido horário ou anti-horário de retirada das coordenadas dos cantos das lajes, influirá apenas no sinal negativo ou positivo de $Z(P)$. Porém, a componente vertical da atração das massas do edifício para lajes situadas acima do ponto de medida deverá ser somada (por ter sentido oposto a \vec{g}), e para lajes situadas abaixo do ponto de medida (por ter o mesmo sentido de \vec{g}), deverá ser subtraída das leituras gravimétricas.

5º) Neste caso, especificamente, sempre que a coordenada x de qualquer um dos cantos das lajes for igual à coordenada u de uma das estações, fato que ocorre quando as estações situam-se exatamente sobre as lajes, ocorrerão duas indeterminações em $Z(P)$. Visando resolver este problema, foi somada a altura do prato (0,07 m), às coordenadas u de todas as estações.

As equações acima, foram programadas em linguagem Fortran, em forma de sub-rotina (Smassa.For - Anexo G).

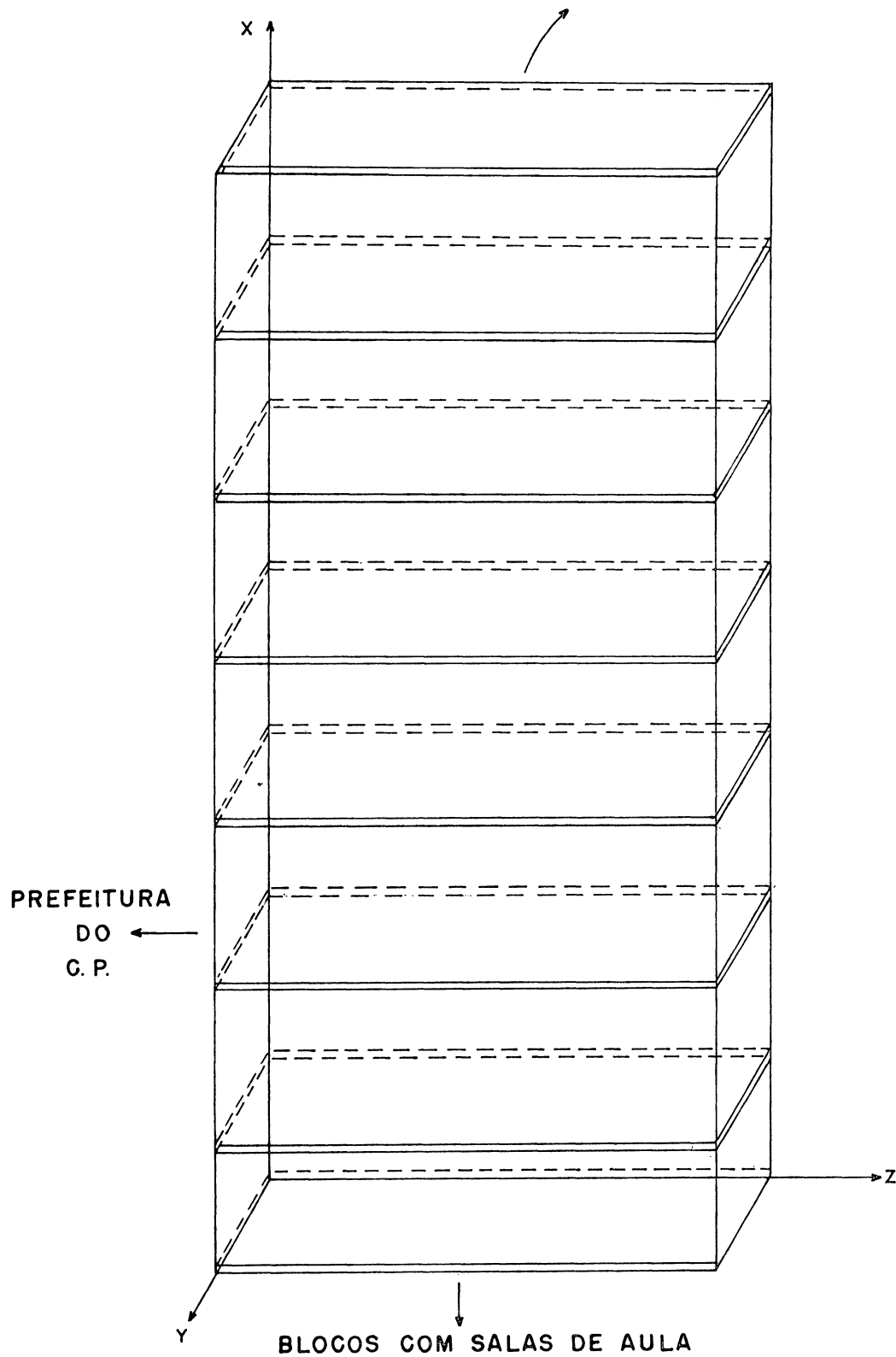


Figura 8 - Localização das lajes em relação ao sistema de de coordenadas retangulares adotado.

4 - RESULTADOS OBTIDOS

4.1 - Média, desvio padrão para uma observação isolada, desvio padrão da média e variância das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica (para cada circuito)

Após a correção da deriva dinâmica, para cada um dos circuitos, calculou-se a média aritmética, o desvio padrão para uma observação isolada, o desvio padrão da média e a variância das leituras, através das fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left[x_i - \bar{x} \right]^2}{n - 1} \quad (4.2)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left[x_i - \bar{x} \right]^2}{n (n - 1)} \quad (4.3)$$

$$\sigma_n = + \sqrt{\sigma_n^2} \quad (4.4)$$

Como o gravímetro utilizado nas medidas gravimétricas

possui resolução de 0,005 mgal, foram rejeitadas as leituras cujo desvio padrão para uma observação isolada foi superior a 0,005 mgal, isto se, este fato não ocorreu com a primeira (ou última) leitura do circuito, base do cálculo da deriva dinâmica. Neste caso foi rejeitado o circuito (Tabela 3).

circuitos	pontos rejeitados
1	-----
2	-----
3	9 e 15
4	10 e 16
5	todos
6	46
7	-----
8	48
9	-----
10	-----

Tabela 3 - Pontos rejeitados em cada circuito

A seguir, estão os resultados dos dez circuitos, com a média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica, e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 .

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
1	57,081	,002	,001	,000001
21	54,485	,002	,001	,000001
31	53,094	,002	,001	,000001
41	51,707	,003	,001	,000001
1	57,081	,002	,001	,000001

Tabela 4 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 1.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
2	56,934	,003	,001	,000002
22	54,332	,002	,001	,000001
32	52,946	,003	,001	,000002
42	51,570	,003	,001	,000002
2	56,934	,003	,001	,000002

Tabela 5 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 2.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
3	56,782	,002	,001	,000000
9	56,035	,006	,002	,000004
15	55,261	,007	,002	,000006
23	54,191	,002	,001	,000000
33	52,806	,001	,000	,000000
43	51,429	,002	,001	,000000
51	50,277	,002	,001	,000000
57	49,351	,003	,001	,000001
3	56,782	,002	,001	,000000

Tabela 6 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 3.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
4	56,638	,003	,001	,000001
10	55,895	,008	,003	,000006
16	55,117	,007	,002	,000005
24	54,043	,003	,001	,000001
34	52,660	,003	,001	,000001
44	51,281	,002	,001	,000001
52	50,137	,002	,001	,000001
58	49,204	,003	,001	,000001
4	56,638	,003	,001	,000001

Tabela 7 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 4.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
5	56,500	,007	,002	,000006
11	55,768	,004	,001	,000002
17	54,973	,006	,002	,000004
25	53,902	,004	,001	,000002
35	52,519	,005	,002	,000003
45	51,134	,006	,002	,000004
53	49,989	,007	,002	,000005
59	49,055	,009	,003	,000009
5	56,500	,007	,002	,000006

Tabela 8 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 5.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
6	56,368	,003	,001	,000001
12	55,598	,002	,001	,000000
18	54,820	,002	,001	,000001
26	53,741	,004	,001	,000002
36	52,371	,005	,002	,000003
46	50,978	,006	,002	,000004
54	49,825	,005	,002	,000003
6	56,368	,003	,001	,000001

Tabela 9 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 6.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
7	56,217	,003	,001	,000001
13	55,449	,002	,001	,000000
19	54,676	,002	,001	,000000
27	53,588	,002	,001	,000000
37	52,206	,004	,002	,000002
47	50,822	,004	,001	,000002
55	49,659	,005	,002	,000004
7	56,217	,003	,001	,000001

Tabela 10 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 7.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
8	56,121	,003	,001	,000002
14	55,353	,002	,001	,000000
28	53,431	,004	,002	,000003
38	52,064	,004	,002	,000003
48	50,668	,006	,002	,000004
56	49,505	,005	,002	,000004
8	56,121	,003	,001	,000002

Tabela 11 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 8.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
29	53,285	,004	,002	,000005
39	51,907	,003	,002	,000003
49	50,526	,004	,002	,000003
29	53,285	,004	,002	,000005

Tabela 12 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 9.

Estação	média leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica - (mGal)	σ	σ_n	σ_n^2
20	54,571	,003	,001	,000002
30	53,192	,002	,001	,000001
40	51,817	,003	,001	,000002
50	50,418	,003	,002	,000002
20	54,571	,003	,001	,000002

Tabela 13 - Média das leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica e seus respectivos σ , σ_n e σ_n^2 para o circuito 10.

4.2 - Influência da massa do edifício e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (para cada circuito)

Obtidas as médias aritméticas das leituras corrigidas da deriva dinâmica, calculou-se a influência da massa de

cada uma das lajes do edifício, sobre todos os pontos de medida.

Nas tabelas 14 a 23, as linhas representam as lajes (em número de oito) e as colunas os pontos de medida (em número variável para cada circuito). Assim sendo, o elemento da primeira linha e primeira coluna representa a influência da primeira laje no primeiro ponto de medida, o elemento da primeira linha e segunda coluna, a influência da primeira laje no segundo ponto de medida, e assim por diante.

Observe-se que, a maior proximidade de uma laje a um ponto de medida é facilmente detetável. Por exemplo, considerando-se as correções da influência da massa do edifício em módulo, no circuito 1, a primeira laje (figura 9) está mais próxima do primeiro ponto, a terceira laje (figura 10) está mais próxima do segundo ponto, a quarta laje (figura 11) está mais próxima do terceiro ponto, e finalmente a quinta laje (figura 12) está mais próxima do quarto ponto de medida.

A leitura corrigida da influência da massa do edifício foi obtida somando-se algebricamente o somatório da influência de todas as lajes com as leituras gravimétricas corrigidas da deriva dinâmica, para cada um dos pontos de medida.

esta- laje / ção	1	21	31	41
1	-,0017	-,0014	-,0012	-,0010
2	,0017	-,0016	-,0014	-,0012
3	,0015	-,0017	-,0016	-,0014
4	,0012	,0016	-,0017	-,0016
5	,0010	,0014	,0016	-,0017
6	,0008	,0012	,0014	,0016
7	,0007	,0010	,0012	,0014
8	,0006	,0009	,0011	,0013
Σ	,0058	,0014	-,0006	-,0025
leit.corr. infl. mas- sa edif.	57,086	54,487	53,094	51,705

Tabela 14 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 1.

esta- laje / ção	2	22	32	42
1	-,0017	-,0014	-,0012	-,0010
2	,0017	-,0016	-,0014	-,0011
3	,0015	-,0017	-,0016	-,0014
4	,0013	,0017	-,0017	-,0016
5	,0011	,0015	,0017	-,0017
6	,0008	,0013	,0015	,0017
7	,0007	,0010	,0013	,0015
8	,0006	,0009	,0011	,0013
Σ	,0059	,0016	-,0004	-,0024
leit.corr. infl. mas- sa edif.	56,940	54,334	52,946	51,567

Tabela 15 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 2.

esta- ção laje	3	9	15	23	33	43	51	57
1	-,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012	-,0010	-,0008	-,0007
2	,0017	-,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0011	-,0010	-,0008
3	,0015	,0016	,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012	-,0011
4	,0013	,0014	,0016	,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0013
5	,0011	,0012	,0013	,0015	,0017	-,0017	-,0016	-,0015
6	,0009	,0010	,0011	,0013	,0015	,0017	-,0017	-,0017
7	,0007	,0008	,0009	,0011	,0013	,0015	,0017	,0017
8	,0006	,0007	,0008	,0009	,0011	,0014	,0015	,0017
Σ	,0061	,0034	,0041	,0018	-,0003	-,0023	-,0046	-,0037
leit.corr. infl. mas- sa edif.	56,788	56,038	55,265	54,193	52,806	51,427	50,272	49,347

Tabela 16 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 3.

esta- ção laje	4	10	16	24	34	44	52	58
1	-,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012	-,0010	-,0008	-,0007
2	,0017	-,0018	-,0017	-,0016	-,0013	-,0011	-,0009	-,0008
3	,0016	,0017	,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012	-,0010
4	,0013	,0015	,0016	,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0013
5	,0011	,0012	,0014	,0016	,0017	-,0017	-,0016	-,0015
6	,0009	,0010	,0011	,0013	,0016	,0017	-,0018	-,0017
7	,0007	,0008	,0009	,0011	,0013	,0016	,0017	,0018
8	,0006	,0007	,0008	,0009	,0011	,0014	,0016	,0017
Σ	,0063	,0035	,0043	,0019	-,0001	-,0021	-,0044	-,0035
leit.corr. infl. mas- sa edif.	56,644	55,899	55,122	54,045	52,660	51,279	50,132	49,200

Tabela 17 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 4.

esta- laje \ ção	5	11	17	25	35	45	53	59
1	-,0018	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012	-,0009	-,0008	-,0007
2	,0018	-,0018	-,0017	-,0016	-,0013	-,0011	-,0009	-,0008
3	,0016	,0017	,0018	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012	-,0010
4	,0014	,0015	,0016	,0017	-,0017	-,0016	-,0014	-,0012
5	,0011	,0013	,0014	,0016	,0017	-,0017	-,0016	-,0015
6	,0009	,0010	,0012	,0014	,0016	,0017	-,0018	-,0017
7	,0008	,0009	,0010	,0011	,0014	,0016	,0017	-,0018
8	,0006	,0007	,0008	,0010	,0012	,0014	,0016	,0017
Σ	,0065	,0037	,0045	,0021	,0001	-,0020	-,0043	-,0069
leit.corr. infl. mas- sa edif.	56,507	55,771	54,978	53,905	52,519	51,132	49,985	49,048

Tabela 18 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 5.

esta- laje \ ção	6	12	18	26	36	46	54
1	-,0014	-,0014	-,0013	-,0012	-,0010	-,0008	-,0007
2	,0014	-,0014	-,0014	-,0013	-,0011	-,0009	-,0008
3	,0013	,0014	,0014	-,0014	-,0013	-,0011	-,0010
4	,0012	,0013	,0014	,0014	-,0014	-,0013	-,0012
5	,0010	,0011	,0012	,0013	,0014	-,0014	-,0013
6	,0008	,0009	,0010	,0012	,0013	,0014	-,0014
7	,0007	,0008	,0009	,0010	,0012	,0013	,0014
8	,0006	,0007	,0007	,0009	,0010	,0012	,0013
Σ	,0057	,0034	,0040	,0019	,0002	-,0016	-,0036
leit.corr. infl. mas- sa edif.	56,374	55,601	54,824	53,743	52,372	50,976	49,821

Tabela 19 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 6.

esta- laje ção	7	13	19	27	37	47	55
1	-,0014	-,0013	-,0013	-,0011	-,0010	-,0008	-,0007
2	,0014	-,0014	-,0014	-,0013	-,0011	-,0009	-,0008
3	,0014	,0014	,0014	-,0014	-,0013	-,0011	-,0010
4	,0012	,0013	,0014	,0014	-,0014	-,0013	-,0011
5	,0010	,0011	,0012	,0013	,0014	-,0014	-,0013
6	,0008	,0009	,0010	,0012	,0013	,0014	-,0014
7	,0007	,0008	,0009	,0010	,0012	,0013	,0014
8	,0006	,0007	,0008	,0009	,0010	,0012	,0014
Σ	,0057	,0034	,0040	,0020	,0003	-,0015	-,0035
lett.corr. infl. mas- sa edif.	56,223	55,453	54,680	53,590	52,206	50,820	49,656

Tabela 20 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 7.

esta- laje ção	8	14	28	38	48	56
1	-,0014	-,0013	-,0011	-,0009	-,0008	-,0007
2	-,0014	-,0014	-,0012	-,0011	-,0009	-,0008
3	,0013	,0014	-,0014	-,0013	-,0011	-,0009
4	,0012	,0013	,0014	-,0014	-,0013	-,0011
5	,0010	,0011	,0013	,0014	-,0014	-,0013
6	,0009	,0010	,0012	,0013	,0014	-,0014
7	,0007	,0008	,0010	,0012	,0013	,0014
8	,0006	,0007	,0009	,0011	,0012	,0014
Σ	,0029	,0035	,0021	,0004	-,0014	-,0033
lett.corr. infl. mas- sa edif.	56,124	55,357	53,433	52,065	50,666	49,502

Tabela 21 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 8.

esta- ção laje	29	39	49
1	-,0011	-,0009	-,0007
2	-,0012	-,0010	-,0009
3	-,0014	-,0012	-,0011
4	,0014	-,0014	-,0012
5	,0013	,0014	-,0014
6	,0012	,0013	,0014
7	,0010	,0012	,0013
8	,0009	,0011	,0012
Σ	,0022	,0005	-,0013
leit.corr. infl. mas- sa edif.	53,287	51,908	50,524

Tabela 22 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 9.

esta- ção laje	20	30	40	50
1	-,0012	-,0010	-,0009	-,0007
2	-,0013	-,0012	-,0010	-,0008
3	-,0014	-,0013	-,0012	-,0010
4	,0013	-,0014	-,0013	-,0012
5	,0012	,0013	-,0014	-,0013
6	,0010	,0012	,0013	-,0014
7	,0009	,0010	,0012	,0013
8	,0007	,0009	,0011	,0012
Σ	,0013	-,0005	-,0022	-,0039
leit.corr. infl. mas- sa edif.	54,572	53,191	51,814	50,414

Tabela 23 - Correção da influência da massa do edifício (em mGal) e leituras gravimétricas corrigidas da influência da massa do edifício (em mGal) para o circuito 10.

FIG. 9- INFLUENCIA DAS LAJES NO PONTO 1 DO CIRC. 1

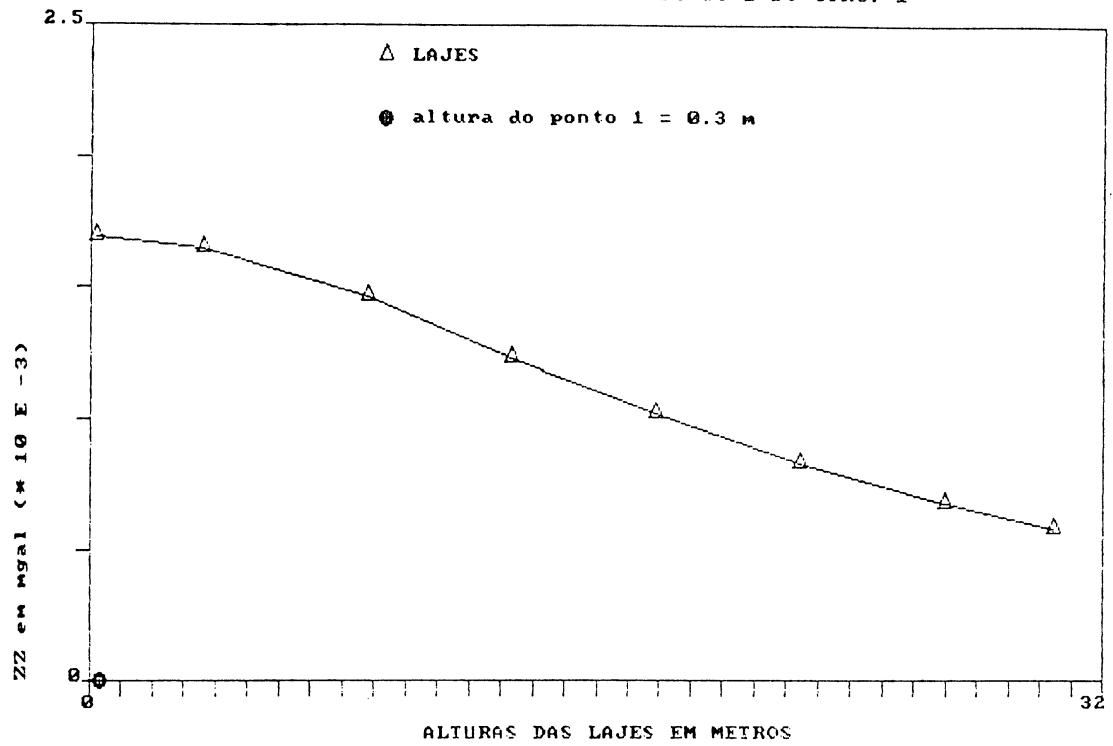


FIG.10- INFLUENCIA DAS LAJES NO PONTO 21 DO CIRC.1

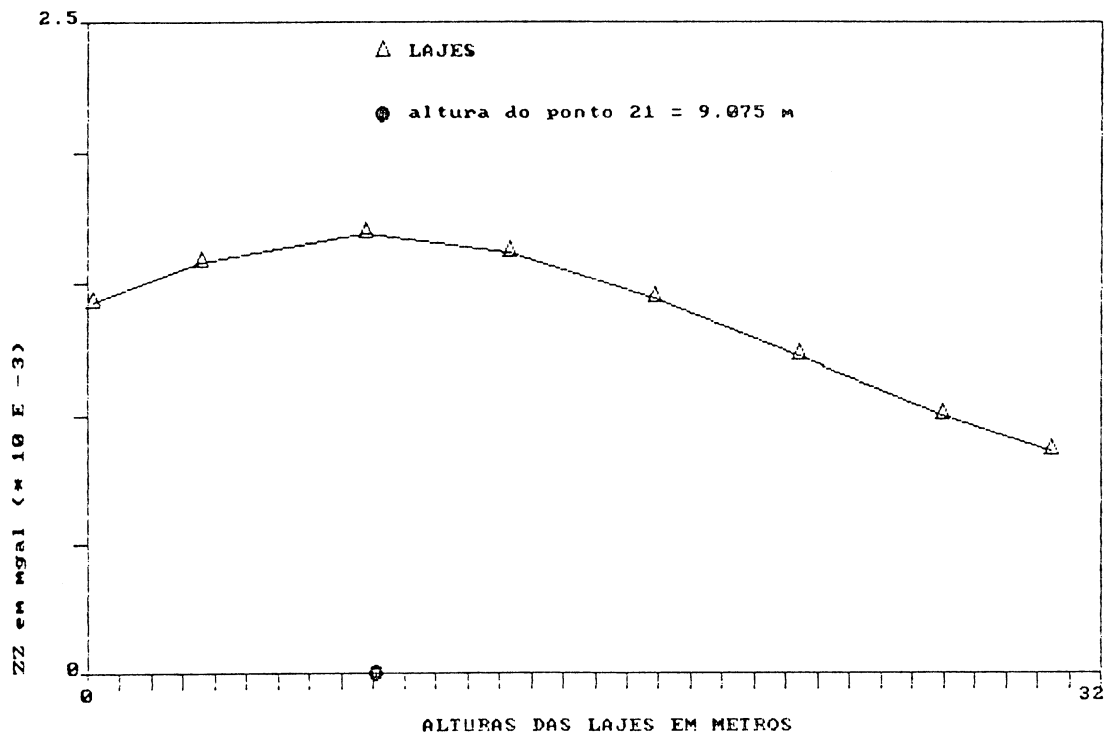


FIG.11- INFLUENCIA DAS LAJES NO PONTO 31 DO CIRC.1

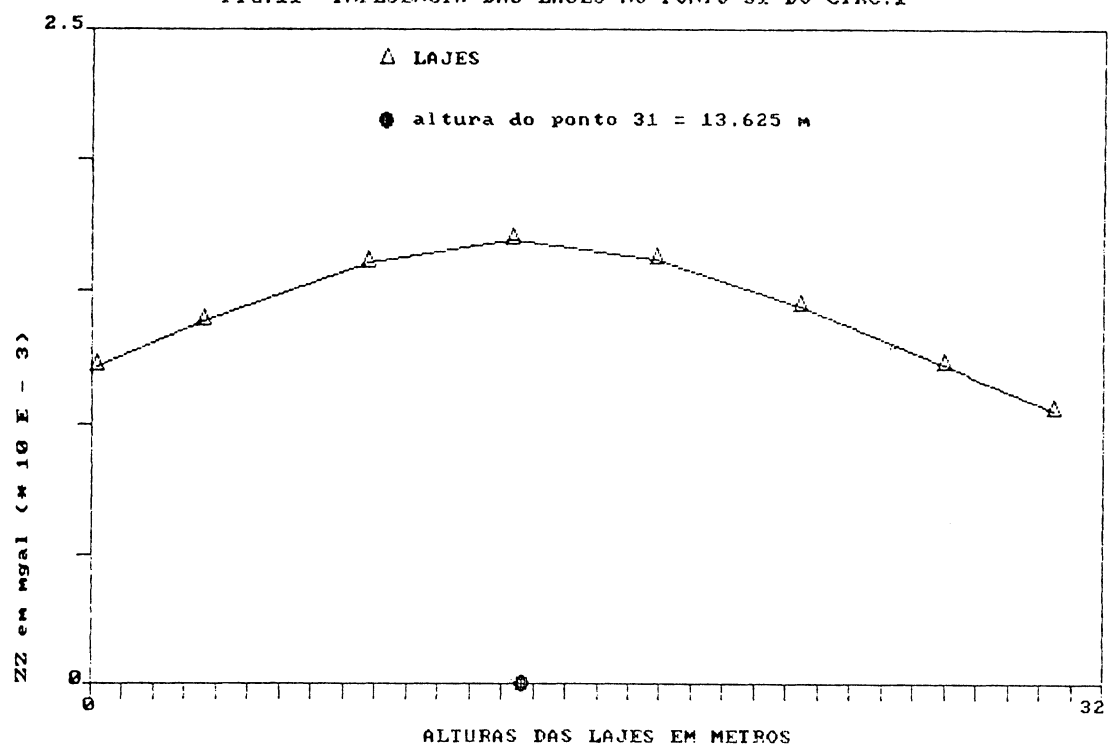
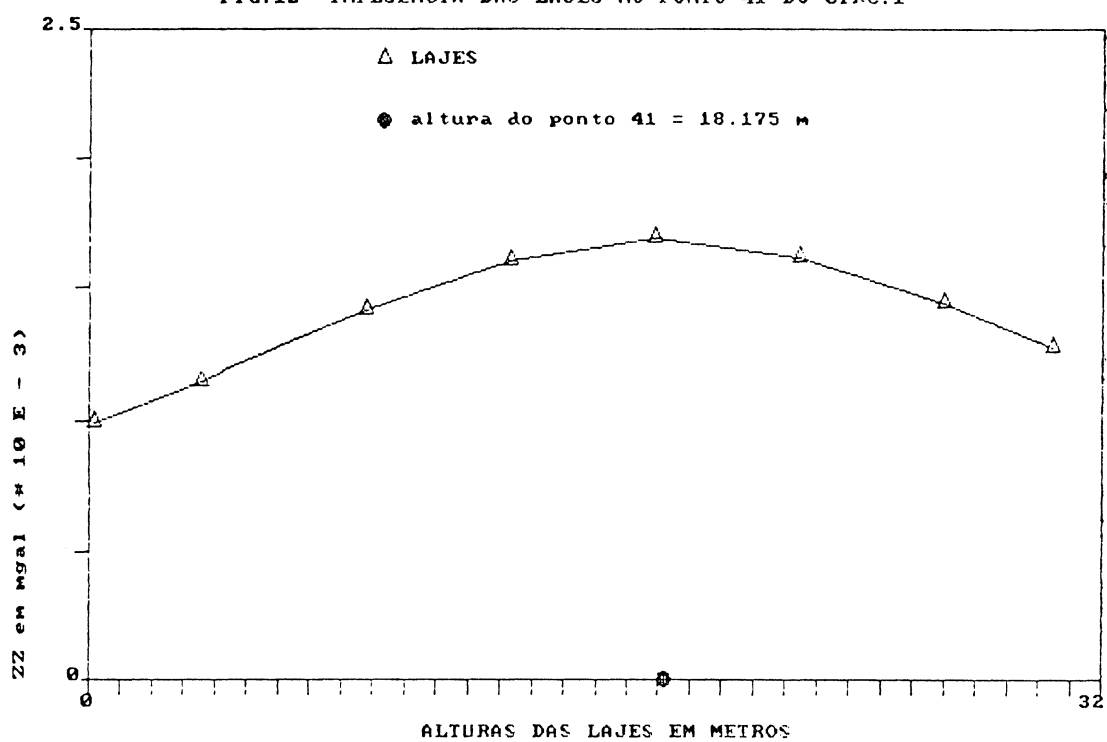


FIG.12- INFLUENCIA DAS LAJES NO PONTO 41 DO CIRC.1



4.3 - Gradientes verticais da gravidade obtidos a partir de medidas de alturas com paquímetro e de planta, com média, desvio padrão para uma observação isolada, desvio padrão da média e variância (para cada circuito)

Finalmente, de posse das leituras depuradas da influência da massa do edifício, passou-se ao cálculo dos gradientes verticais da gravidade, dentro de cada circuito. Para isso, foram efetuadas todas as combinações possíveis entre os pontos de medida (n), em cada circuito, e o número de GVGs obtidos, obedece à fórmula:

$$n^{\circ} \text{ GVGs/circuito} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (4.5)$$

No circuito 1, por exemplo, são quatro os pontos de medida, e foram feitas combinações entre todos eles, utilizando as alturas obtidas com paquímetro e planta, obtendo-se seis valores de GVGs, nos dois casos.

Calculou-se também, dentro de cada circuito e para os dois tipos de determinação de altura, a média aritmética, o desvio padrão para uma observação isolada, o desvio padrão da média e a variância dos GVGs, obtidos sem a rejeição de leituras cujo σ foi maior que 0,005 mgal, e com a rejeição dessas leituras.

A seguir, estão os resultados para cada circuito sem rejeição de leituras (Tabelas 24 a 33), e as Tabelas 34 e 35 mostram apenas os GVGs médios e os desvios padrões da média e de uma observação isolada, sem e com a rejeição de leituras, respectivamente, a título de comparação.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mGal/m)
sup.	inf.					
1	21	2,599	8,775	-0,296	8,714	-0,298
1	31	3,993	13,325	-0,300	13,279	-0,301
1	41	5,381	17,875	-0,301	17,817	-0,302
21	31	1,393	4,550	-0,306	4,565	-0,305
21	41	2,782	9,100	-0,306	9,103	-0,306
31	41	1,389	4,550	-0,305	4,538	-0,306

Tabela 24 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 1.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mGal/m)
sup.	inf.					
2	22	2,606	8,775	-0,297	8,717	-0,299
2	32	3,995	13,325	-0,300	13,299	-0,300
2	42	5,373	17,875	-0,301	17,823	-0,301
22	32	1,388	4,550	-0,305	4,582	-0,303
22	42	2,767	9,100	-0,304	9,107	-0,304
32	42	1,378	4,550	-0,303	4,525	-0,305

Tabela 25 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 2.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mGal/m)
sup.	inf.					
3	9	0,750	2,600	-0,289	2,644	-0,284
3	15	1,523	5,200	-0,293	5,202	-0,293
3	23	2,596	8,775	-0,296	8,727	-0,297
3	33	3,982	13,325	-0,299	13,309	-0,299
3	43	5,361	17,875	-0,300	17,836	-0,301
3	51	6,516	21,633	-0,301	21,634	-0,301
3	57	7,441	24,682	-0,301	24,670	-0,302
9	15	0,773	2,600	-0,297	2,558	-0,302
9	23	1,845	6,175	-0,299	6,083	-0,303
9	33	3,232	10,725	-0,301	10,665	-0,303
9	43	4,611	15,275	-0,302	15,191	-0,304
9	51	5,766	19,033	-0,303	18,989	-0,304
9	57	6,691	22,082	-0,303	22,026	-0,304
15	23	1,073	3,575	-0,300	3,525	-0,304
15	33	2,459	8,125	-0,303	8,107	-0,303
15	43	3,838	12,675	-0,303	12,634	-0,304
15	51	4,993	16,433	-0,304	16,432	-0,304
15	57	5,918	19,482	-0,304	19,468	-0,304
23	33	1,387	4,550	-0,305	4,582	-0,303
23	43	2,766	9,100	-0,304	9,109	-0,304
23	51	3,921	12,858	-0,305	12,907	-0,304
23	57	4,846	15,907	-0,305	15,943	-0,304
33	43	1,379	4,550	-0,303	4,527	-0,305
33	51	2,534	8,308	-0,305	8,325	-0,304
33	57	3,459	11,357	-0,305	11,361	-0,304
43	51	1,155	3,758	-0,307	3,798	-0,304
43	57	2,080	6,807	-0,306	6,834	-0,304
51	57	0,925	3,049	-0,303	3,036	-0,305

Tabela 26 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 3.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	$GVG_{pl.}$ (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	$GVG_{paq.}$ (mGal/m)
sup.	inf.					
4	10	0,745	2,600	-0,287	2,636	-0,283
4	16	1,522	5,200	-0,293	5,188	-0,293
4	24	2,599	8,775	-0,296	8,722	-0,298
4	34	3,984	13,325	-0,299	13,308	-0,299
4	44	5,365	17,875	-0,300	17,838	-0,301
4	52	6,512	21,653	-0,301	21,649	-0,301
4	58	7,444	24,703	-0,301	24,676	-0,302
10	16	0,777	2,600	-0,299	2,552	-0,304
10	24	1,853	6,175	-0,300	6,086	-0,304
10	34	3,238	10,725	-0,302	10,672	-0,303
10	44	4,620	15,275	-0,302	15,202	-0,304
10	52	5,766	19,053	-0,303	19,013	-0,303
10	58	6,699	22,103	-0,303	22,040	-0,304
16	24	1,076	3,575	-0,301	3,535	-0,305
16	34	2,461	8,125	-0,303	8,121	-0,303
16	44	3,843	12,675	-0,303	12,650	-0,304
16	52	4,989	16,453	-0,303	16,461	-0,303
16	58	5,922	19,503	-0,304	19,488	-0,304
24	34	1,385	4,550	-0,304	4,586	-0,302
24	44	2,767	9,100	-0,304	9,116	-0,303
24	52	3,913	12,878	-0,304	12,927	-0,303
24	58	4,845	15,928	-0,304	15,953	-0,304
34	44	1,381	4,550	-0,304	4,530	-0,305
34	52	2,528	8,328	-0,304	8,340	-0,303
34	58	3,460	11,378	-0,304	11,367	-0,304
44	52	1,147	3,778	-0,303	3,811	-0,301
44	58	2,079	6,828	-0,304	6,838	-0,304
52	58	0,932	3,050	-0,306	3,027	-0,308

Tabela 27 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 4.

estação		Δg (mgal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mgal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mgal/m)
sup.	inf.					
5	11	0,735	2,600	-0,283	2,623	-0,280
5	17	1,529	5,200	-0,294	5,176	-0,295
5	25	2,602	8,775	-0,297	8,727	-0,298
5	35	3,987	13,325	-0,299	13,314	-0,299
5	45	5,375	17,875	-0,301	17,850	-0,301
5	53	6,522	21,676	-0,301	21,656	-0,301
5	59	7,458	24,724	-0,302	24,698	-0,302
11	17	0,793	2,600	-0,305	2,553	-0,311
11	25	1,867	6,175	-0,302	6,104	-0,306
11	35	3,252	10,725	-0,303	10,692	-0,304
11	45	4,639	15,275	-0,304	15,227	-0,305
11	59	5,787	19,076	-0,303	19,033	-0,304
17	25	6,723	22,124	-0,304	22,075	-0,305
17	35	1,073	3,575	-0,300	3,551	-0,302
17	45	2,458	8,125	-0,303	8,138	-0,302
17	53	3,846	12,675	-0,303	12,674	-0,303
17	59	4,993	16,476	-0,303	16,480	-0,303
25	35	5,930	19,524	-0,304	19,522	-0,304
25	45	1,385	4,550	-0,304	4,587	-0,302
25	53	2,773	9,100	-0,305	9,123	-0,304
25	59	3,920	12,901	-0,304	12,929	-0,303
35	45	4,856	15,949	-0,305	15,971	-0,304
35	53	1,387	4,550	-0,305	4,536	-0,306
35	59	2,535	8,351	-0,304	8,342	-0,304
45	53	3,471	11,399	-0,305	11,384	-0,305
45	59	1,147	3,801	-0,302	3,806	-0,301
53	59	2,084	6,849	-0,304	6,848	-0,304
53	59	0,937	3,048	-0,307	3,042	-0,308

Tabela 28 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 5.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	$GVG_{pl.}$ (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	$GVG_{paq.}$ (mGal/m)
sup.	inf.					
6	12	0,773	2,600	-0,297	2,612	-0,296
6	18	1,550	5,200	-0,298	5,175	-0,299
6	26	2,631	8,775	-0,300	8,729	-0,301
6	36	4,002	13,325	-0,300	13,320	-0,300
6	46	5,398	17,875	-0,302	17,875	-0,302
6	54	6,553	21,695	-0,302	21,678	-0,302
12	18	0,777	2,600	-0,299	2,563	-0,303
12	26	1,858	6,175	-0,301	6,117	-0,304
12	36	3,229	10,725	-0,301	10,708	-0,302
12	46	4,625	15,275	-0,303	15,263	-0,303
12	54	5,780	19,095	-0,303	19,066	-0,303
18	26	1,082	3,575	-0,303	3,554	-0,304
18	36	2,453	8,125	-0,302	8,145	-0,301
18	46	3,848	12,675	-0,304	12,700	-0,303
18	54	5,003	16,495	-0,303	16,503	-0,303
26	36	1,371	4,550	-0,301	4,591	-0,299
26	46	2,767	9,100	-0,304	9,146	-0,303
26	54	3,922	12,920	-0,304	12,949	-0,303
36	46	1,396	4,550	-0,307	4,555	-0,306
36	54	2,550	8,370	-0,305	8,358	-0,305
46	54	1,155	3,820	-0,302	3,803	-0,304

Tabela 29 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 6.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	$GVG_{pl.}$ (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	$GVG_{paq.}$ (mGal/m)
sup.	inf.					
7	13	0,770	2,600	-0,296	2,582	-0,298
7	19	1,542	5,200	-0,297	5,156	-0,299
7	27	2,632	8,775	-0,300	8,712	-0,302
7	37	4,017	13,325	-0,301	13,301	-0,302
7	47	5,402	17,875	-0,302	17,860	-0,302
7	55	6,567	21,716	-0,302	21,676	-0,303
13	19	0,772	2,600	-0,297	2,574	-0,300
13	27	1,862	6,175	-0,302	6,130	-0,304
13	37	3,246	10,725	-0,303	10,719	-0,303
13	47	4,632	15,275	-0,303	15,278	-0,303
13	55	5,797	19,116	-0,303	19,094	-0,304
19	27	1,090	3,575	-0,305	3,556	-0,307
19	37	2,474	8,125	-0,305	8,145	-0,304
19	47	3,860	12,675	-0,305	12,704	-0,304
19	55	5,025	16,516	-0,304	16,520	-0,304
27	37	1,384	4,550	-0,304	4,589	-0,302
27	47	2,770	9,100	-0,304	9,148	-0,303
27	55	3,935	12,941	-0,304	12,964	-0,304
37	47	1,386	4,550	-0,305	4,559	-0,304
37	55	2,551	8,391	-0,304	8,375	-0,305
47	55	1,165	3,841	-0,303	3,816	-0,305

Tabela 30 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 7.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mGal/m)
sup.	inf.					
8	14	0,767	2,600	-0,295	2,559	-0,300
8	28	2,691	8,938	-0,301	8,866	-0,303
8	38	4,059	13,488	-0,301	13,446	-0,302
8	48	5,457	18,038	-0,303	18,002	-0,303
8	56	6,621	21,899	-0,302	21,844	-0,303
14	28	1,924	6,338	-0,304	6,307	-0,305
14	38	3,292	10,888	-0,302	10,887	-0,302
14	48	4,690	15,438	-0,304	15,442	-0,304
14	56	5,854	19,299	-0,303	19,284	-0,304
28	38	1,368	4,550	-0,301	4,580	-0,299
28	48	2,767	9,100	-0,304	9,135	-0,303
28	56	3,931	12,961	-0,303	12,977	-0,303
38	48	1,398	4,550	-0,307	4,555	-0,307
38	56	2,563	8,411	-0,305	8,397	-0,305
48	56	1,164	3,861	-0,302	3,842	-0,303

Tabela 31 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 8.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mGal/m)
sup.	inf.					
29	39	1,379	4,550	-0,303	4,575	-0,301
29	49	2,762	9,100	-0,304	9,136	-0,302
39	49	1,383	4,550	-0,304	4,561	-0,303

Tabela 32 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 9.

estação		Δg (mGal)	$\Delta h_{pl.}$ (m)	GVG _{pl.} (mGal/m)	$\Delta h_{paq.}$ (m)	GVG _{paq.} (mGal/m)
sup.	inf.					
20	30	1,381	4,550	-0,304	4,541	-0,304
20	40	2,758	9,100	-0,303	9,087	-0,303
20	50	4,158	13,650	-0,305	13,663	-0,304
30	40	1,377	4,550	-0,303	4,547	-0,303
30	50	2,777	9,100	-0,305	9,122	-0,304
40	50	1,400	4,550	-0,308	4,575	-0,306

Tabela 33 - Gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($\Delta h_{pl.}$) e de paquímetro ($\Delta h_{paq.}$), sem rejeição de leituras gravimétricas para o circuito 10.

Circuito	GVG _{pl.} (mGal/m)	σ	σ_n	GVG _{paq.} (mGal/m)	σ	σ_n
1	- .302	.004	.002	- .303	.003	.001
2	- .302	.003	.001	- .302	.002	.001
3	- .302	.004	.001	- .302	.004	.001
4	- .301	.004	.001	- .302	.005	.001
5	- .302	.005	.001	- .302	.005	.001
6	- .302	.002	.000	- .302	.002	.001
7	- .302	.003	.001	- .303	.002	.000
8	- .302	.003	.001	- .303	.002	.001
9	- .304	.000	.000	- .302	.001	.001
10	- .304	.002	.001	- .304	.001	.000

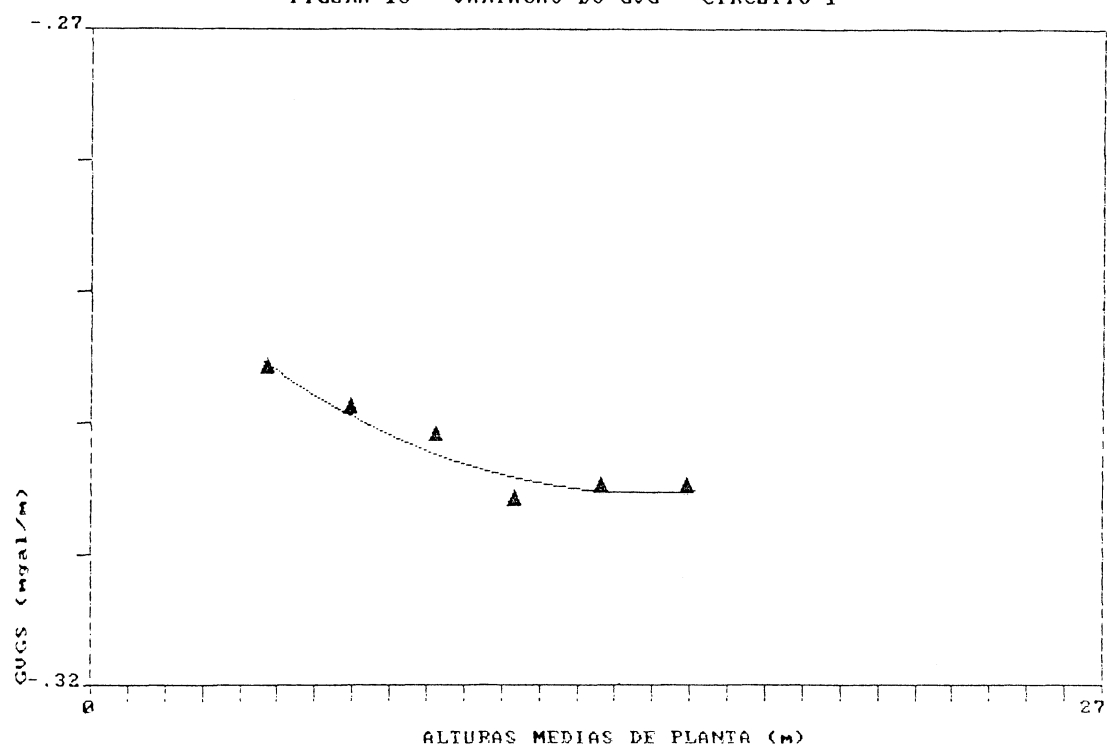
Tabela 34 - Valores médios dos gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta (GVG_{pl.}) e com alturas de paquímetro (GVG_{paq.}), com seus respectivos σ e σ_n sem a rejeição das leituras com $\sigma > 0,005$ mGal.

Circuito	$GVG_{pl.}$ (mGal/m)	σ	σ_n	$GVG_{paq.}$ (mGal/m)	σ	σ_n
1	-.302	.004	.002	-.303	.003	.001
2	-.302	.003	.001	-.302	.002	.001
3	-.303	.003	.001	-.303	.002	.001
4	-.302	.003	.001	-.303	.002	.001
6	-.301	.002	.001	-.302	.002	.001
7	-.302	.003	.001	-.303	.002	.000
8	-.302	.003	.001	-.303	.002	.001
9	-.304	.000	.000	-.302	.001	.001
10	-.304	.002	.001	-.304	.001	.000

Tabela 35 - Valores médios dos gradientes verticais da gravidade obtidos com alturas de planta ($GVG_{pl.}$) e com alturas de paquímetro ($GVG_{paq.}$), com seus respectivos σ e σ_n com a rejeição das leituras com $\sigma > 0,005$ mGal.

As figuras a seguir mostram a variação dos GVGs (obtidos com rejeição de leituras), em cada um dos circuitos, através de uma regressão polinomial de 2.^a ordem. Para tal, o eixo y contém os GVGs e o eixo x as alturas médias (de planta ou paquímetro) de sua determinação, i.e., se um determinado Δh foi obtido mediante a diferença ($h_a - h_b$), a correspondente altura média é $(h_a + h_b)/2$. Através destes gráficos, pretende-se ilustrar, além da não linearidade dos GVGs, um decréscimo de seu valor com o acréscimo de altura.

FIGURA 13 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 1

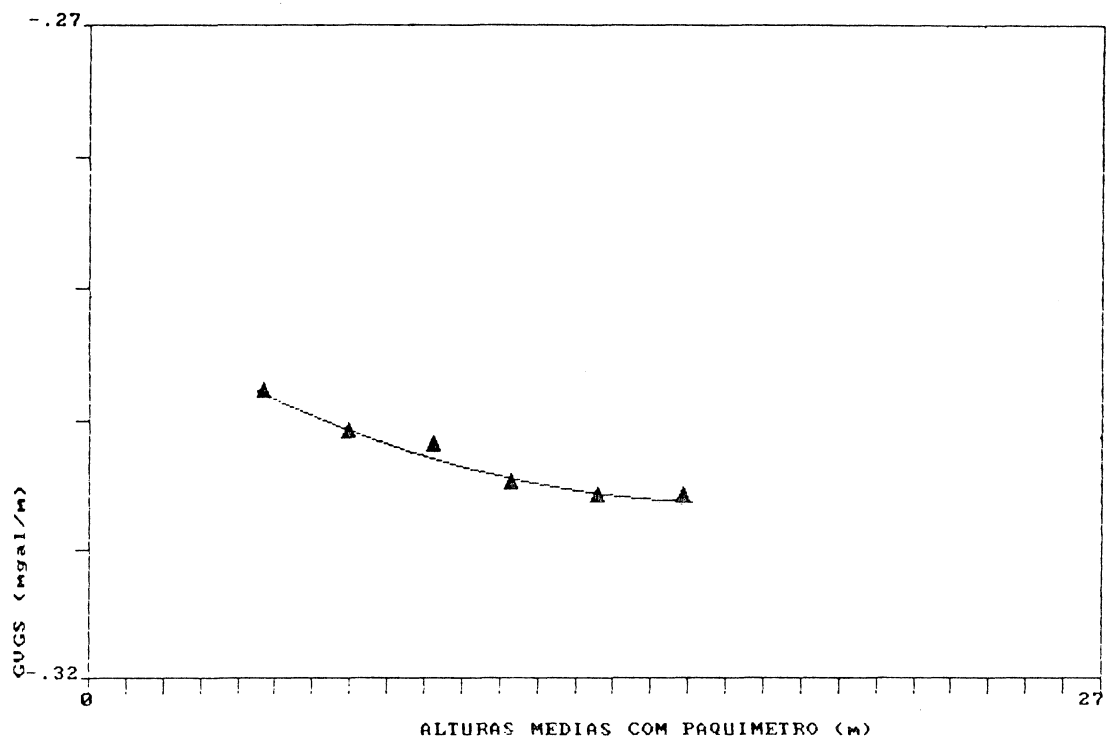


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(-2.844E-01) + (-7.639E-02)*X + (6.947E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 9.397E-07

FIGURA 14 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 1

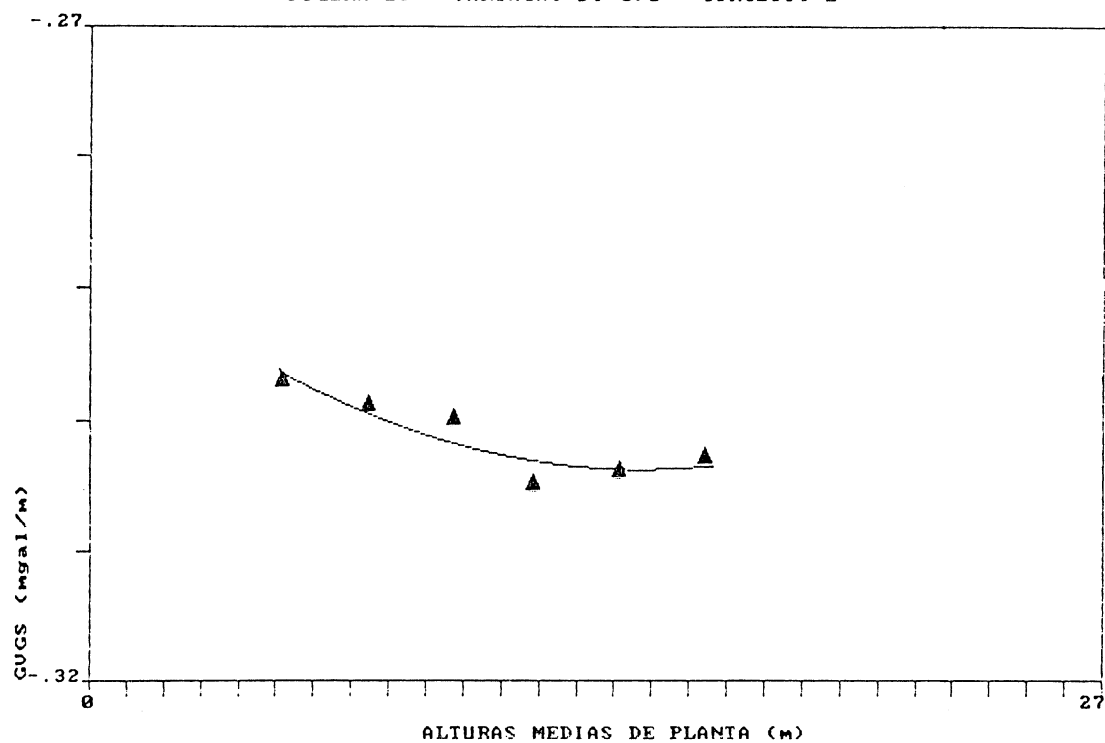


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(-2.906E-01) + (-4.953E-02)*X + (3.880E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 2.354E-07

FIGURA 15 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 2

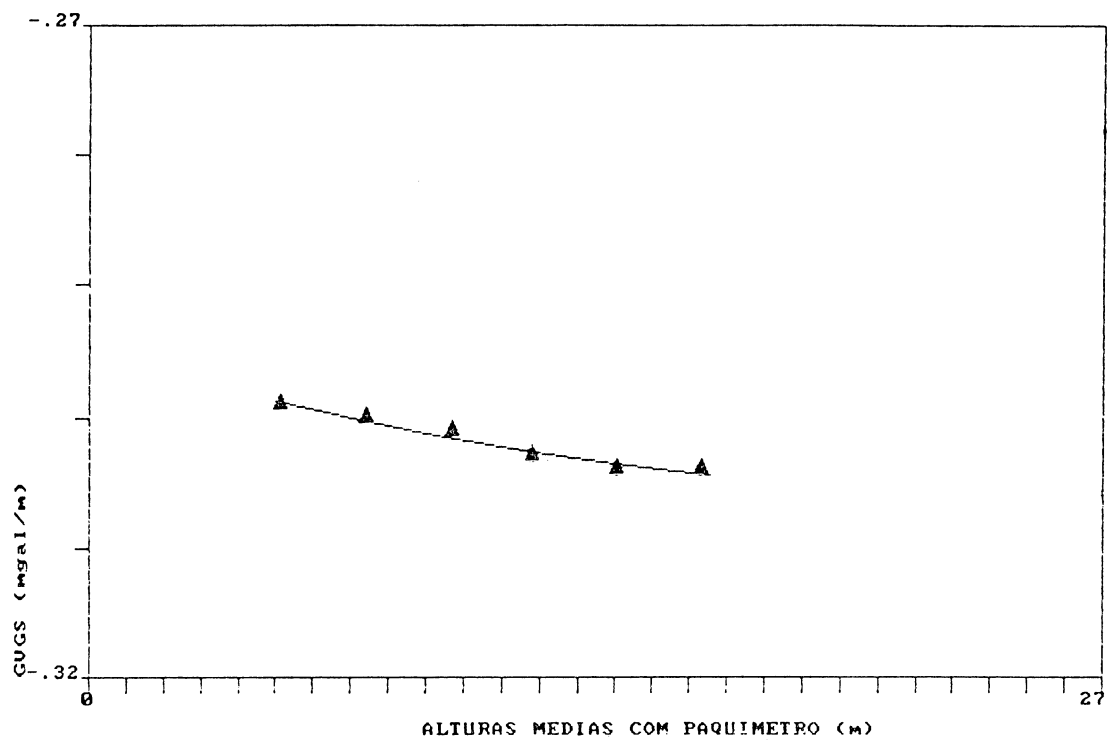


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-2.862E-01) + (-6.445E-02)*X + (5.918E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 1.276E-06

FIGURA 16 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 2

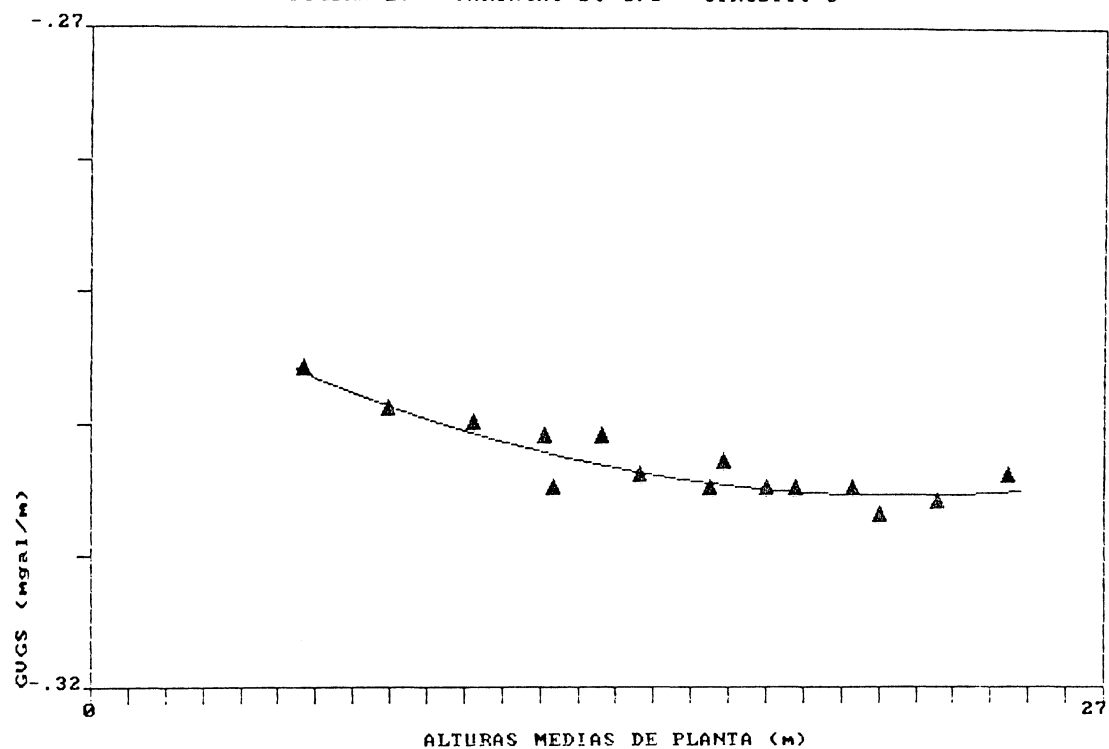


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-2.947E-01) + (-2.374E-02)*X + (1.292E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 1.509E-07

FIGURA 17 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 3

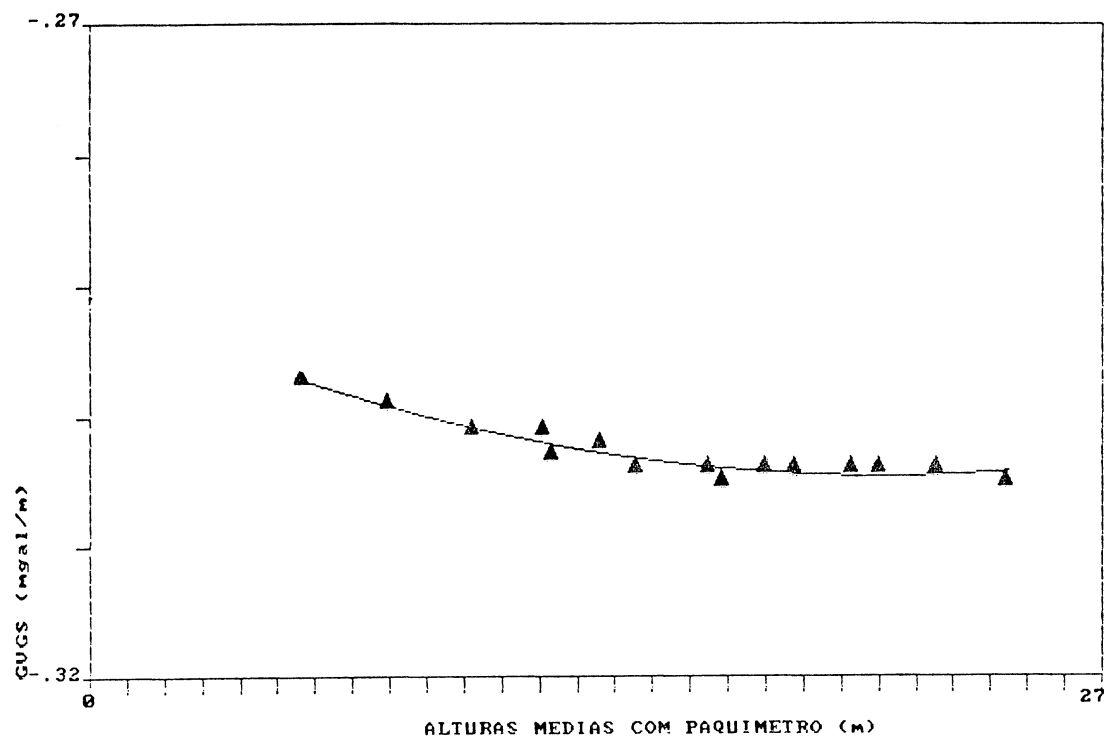


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 ---

$$(-2.883E-01) + (-4.253E-02)*X + (2.654E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 1.396E-06

FIGURA 18 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 3

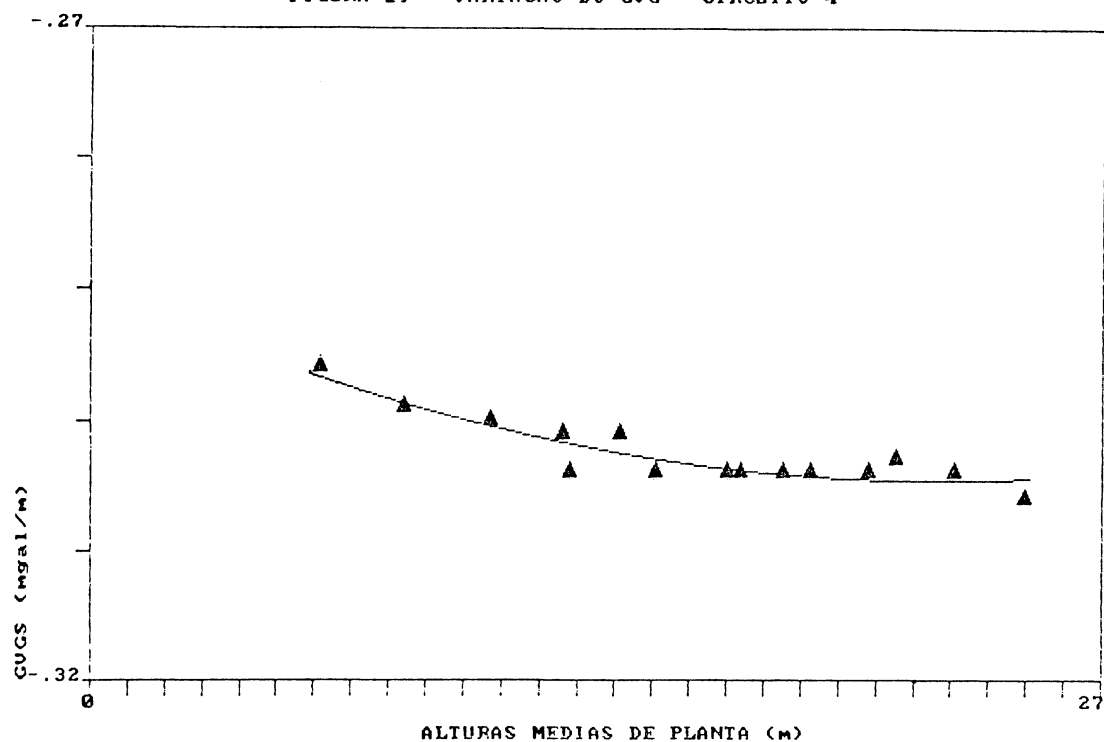


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 ---

$$(-2.907E-01) + (-3.533E-02)*X + (2.256E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 3.856E-07

FIGURA 19 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 4

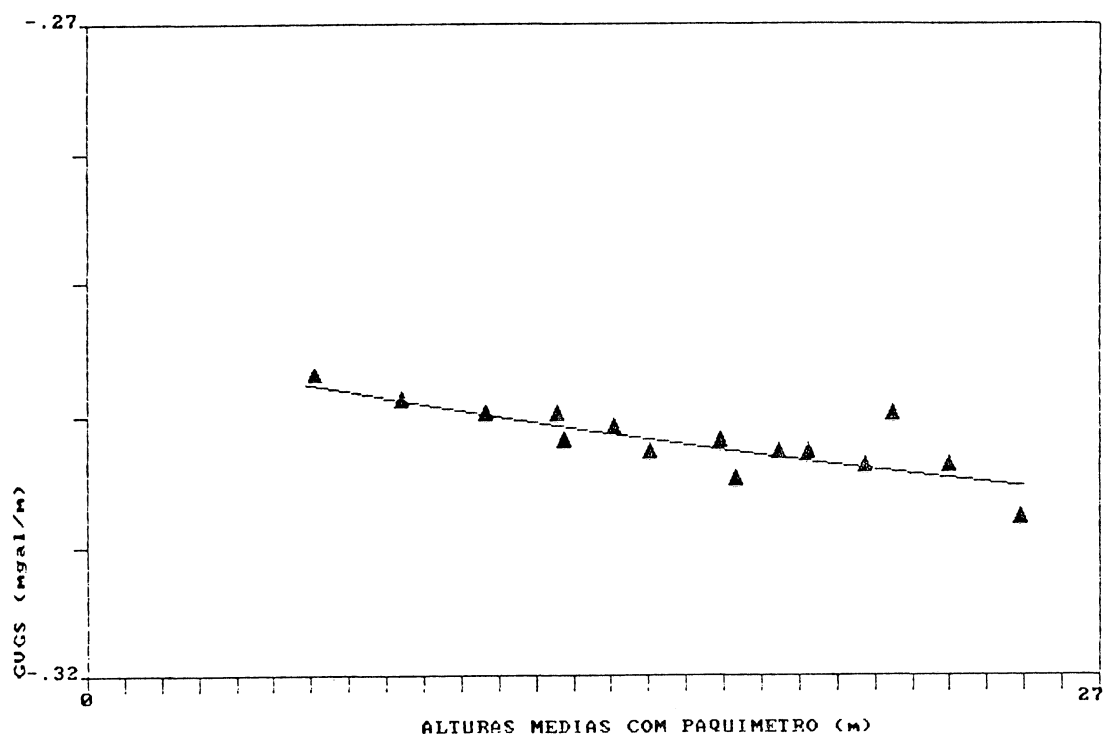


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 ---

$$(-2.895E-01) + (-3.578E-02)*X + (2.125E-02)*X^2$$

THE VARIANCE = 1.004E-06

FIGURA 20 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 4

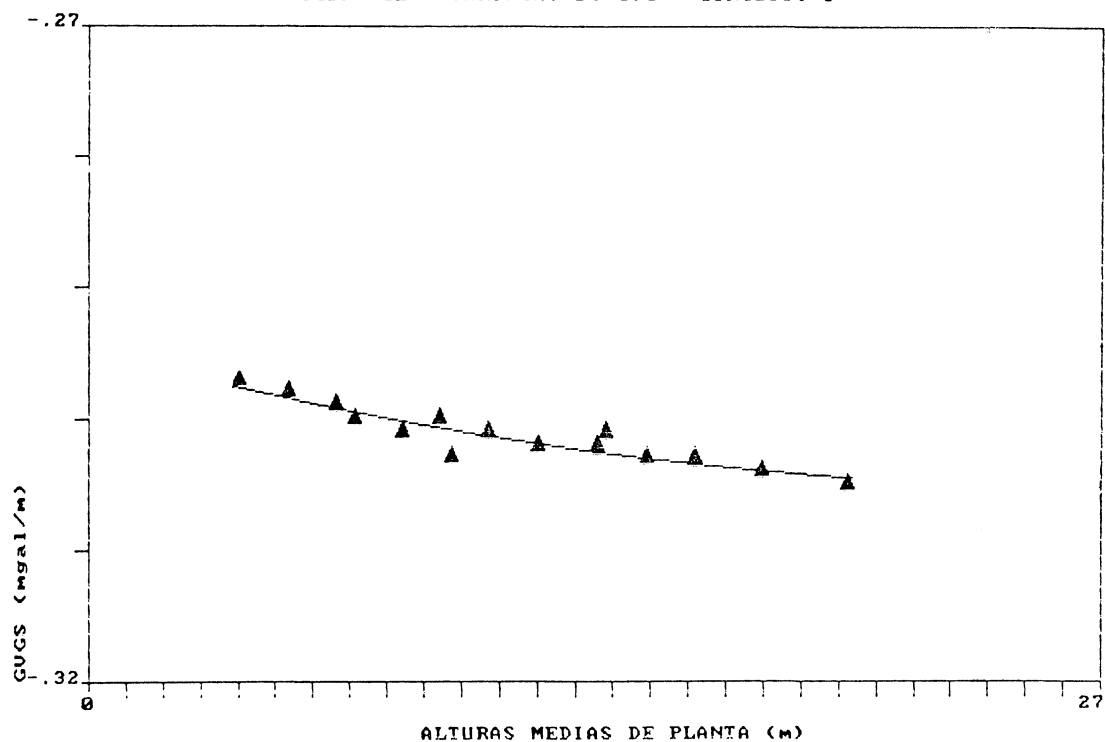


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 ---

$$(-2.944E-01) + (-1.528E-02)*X + (3.764E-03)*X^2$$

THE VARIANCE = 2.356E-06

FIGURA 21 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 6

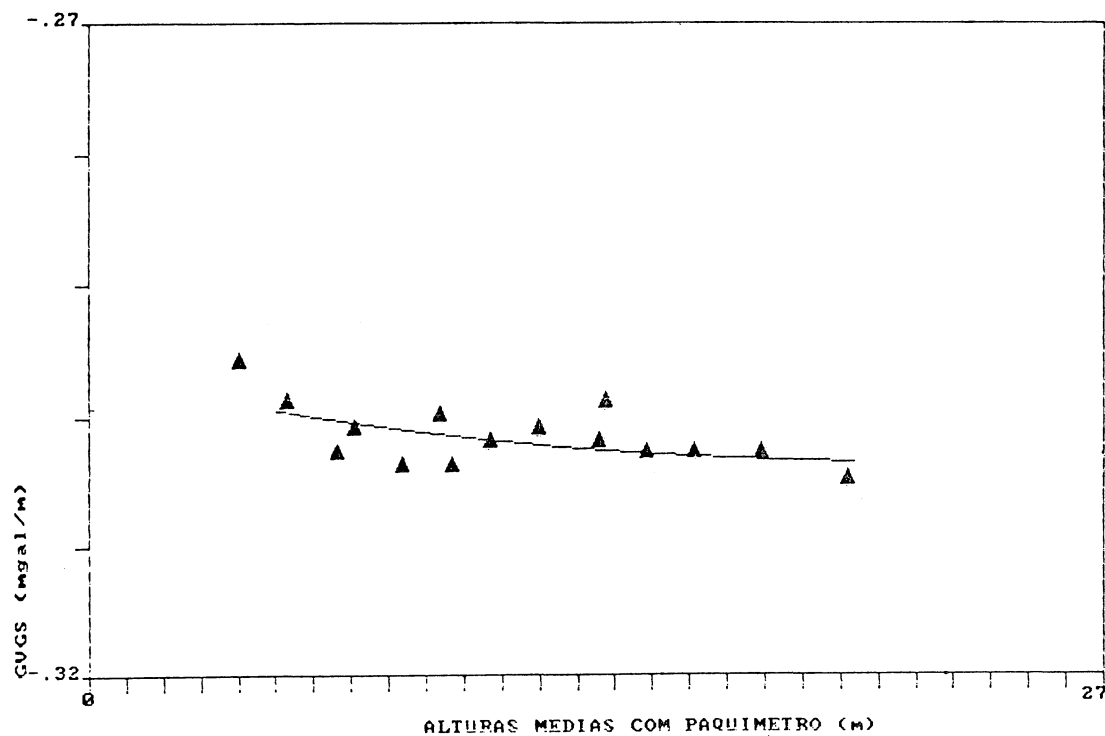


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 —

$$(-2.948E-01) + (-2.021E-02)*X + (9.824E-03)*X^2$$

THE VARIANCE — 6.710E-07

FIGURA 22 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 6



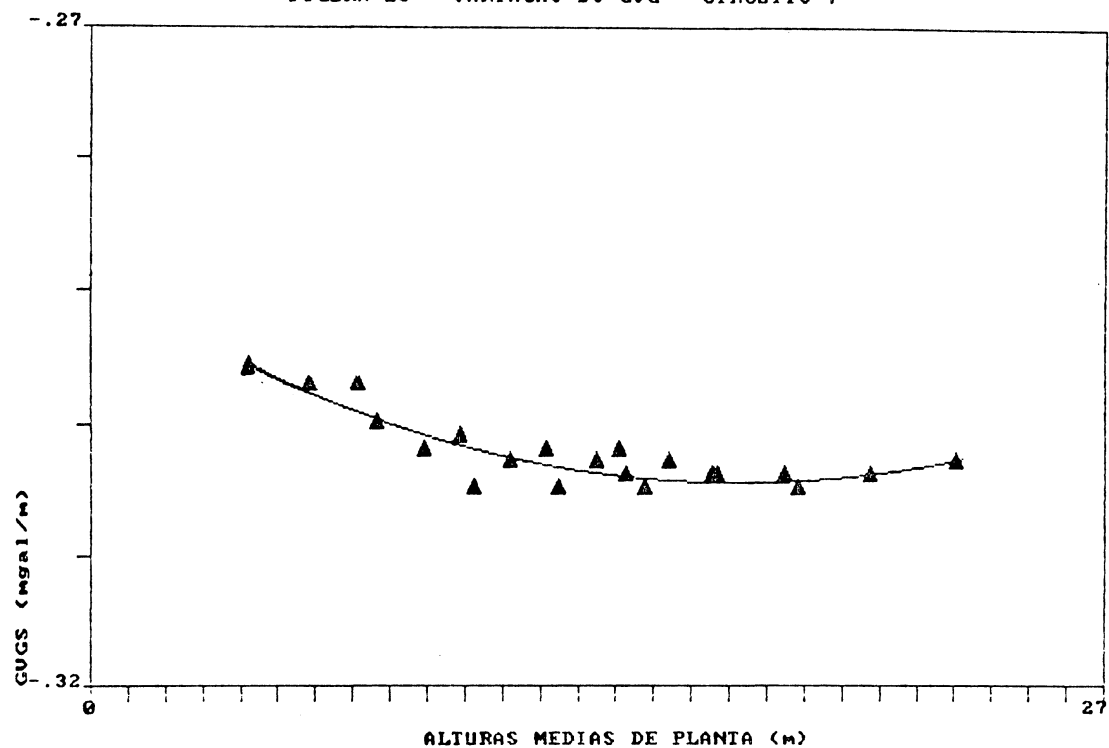
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 —

$$(-2.966E-01) + (-1.748E-02)*X + (1.112E-02)*X^2$$

THE VARIANCE — 3.476E-06

FIGURA 23 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 7

75

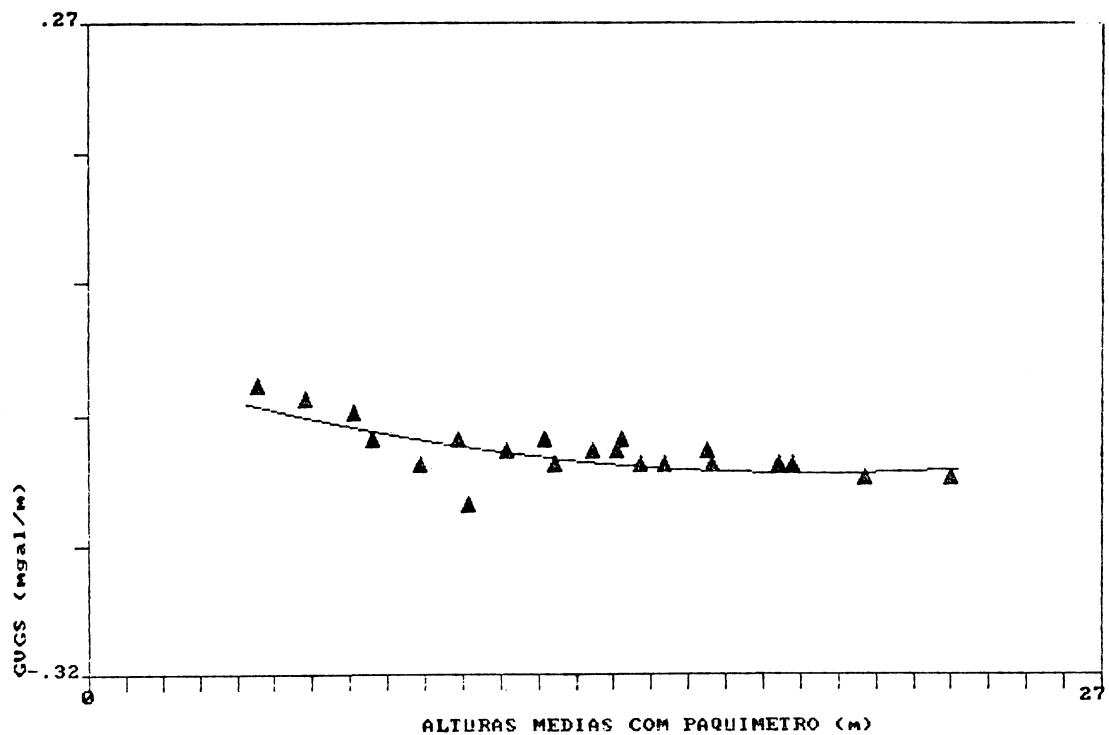


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-2.888E-01) + (-4.906E-02)*X + (3.840E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 1.364E-06

FIGURA 24 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 7

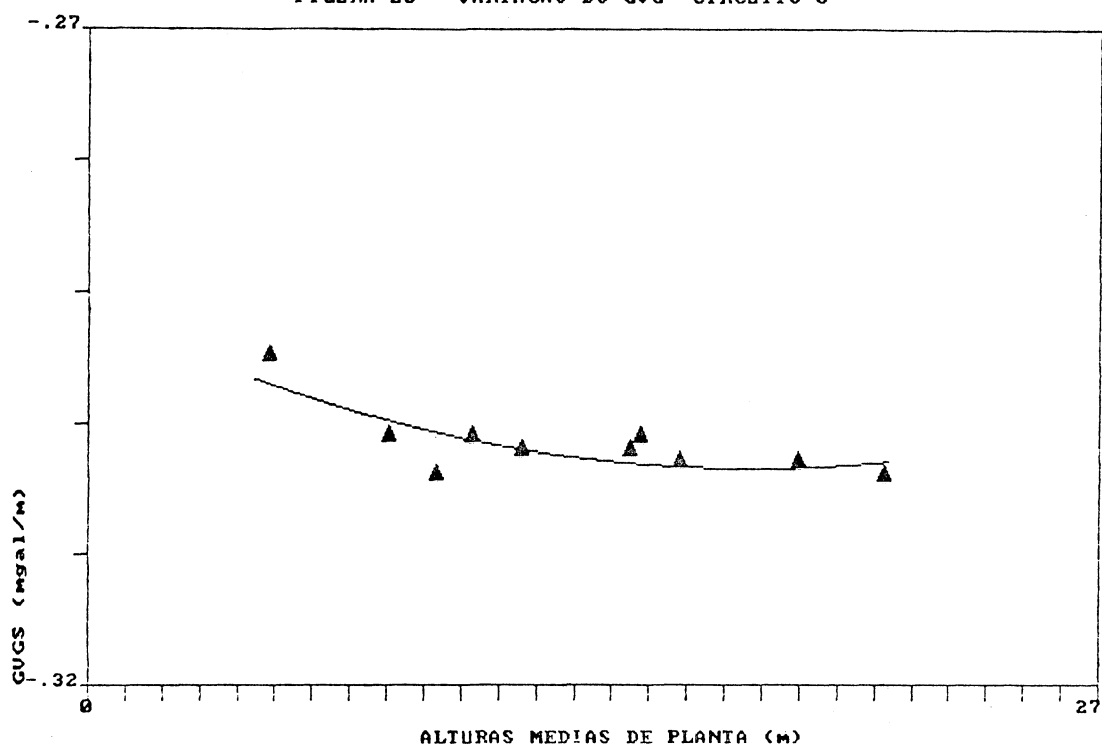


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-2.956E-01) + (-2.444E-02)*X + (1.705E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 1.863E-06

FIGURA 25 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 8

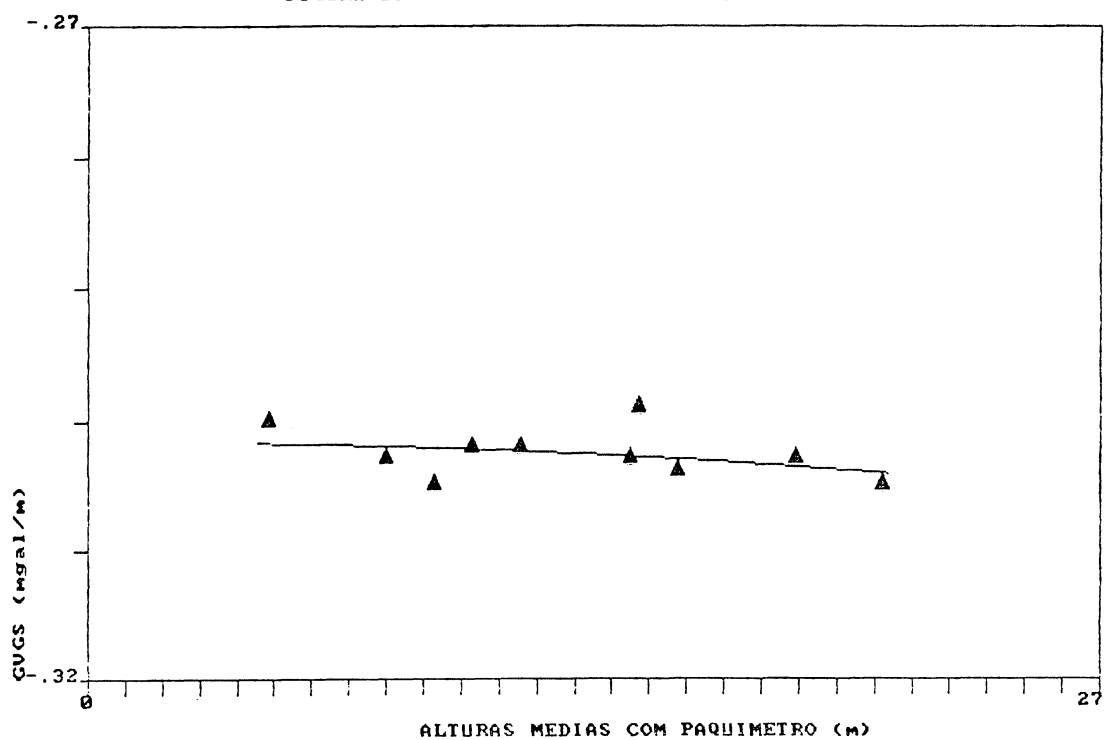


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-2.912E-01) + (-3.725E-02)*X + (2.851E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 2.326E-06

FIGURA 26 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 8



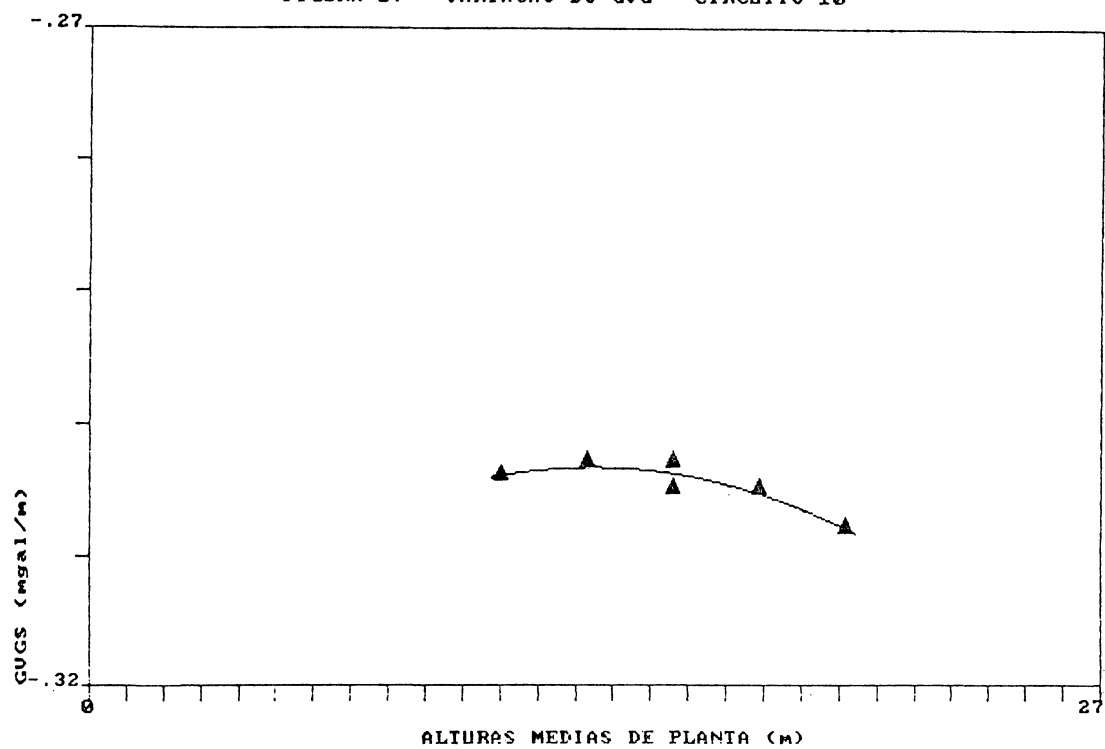
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-3.016E-01) + (-5.949E-05)*X + (-3.929E-03)*X^2$$

THE VARIANCE - 2.947E-06

FIGURA 27 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 10

77

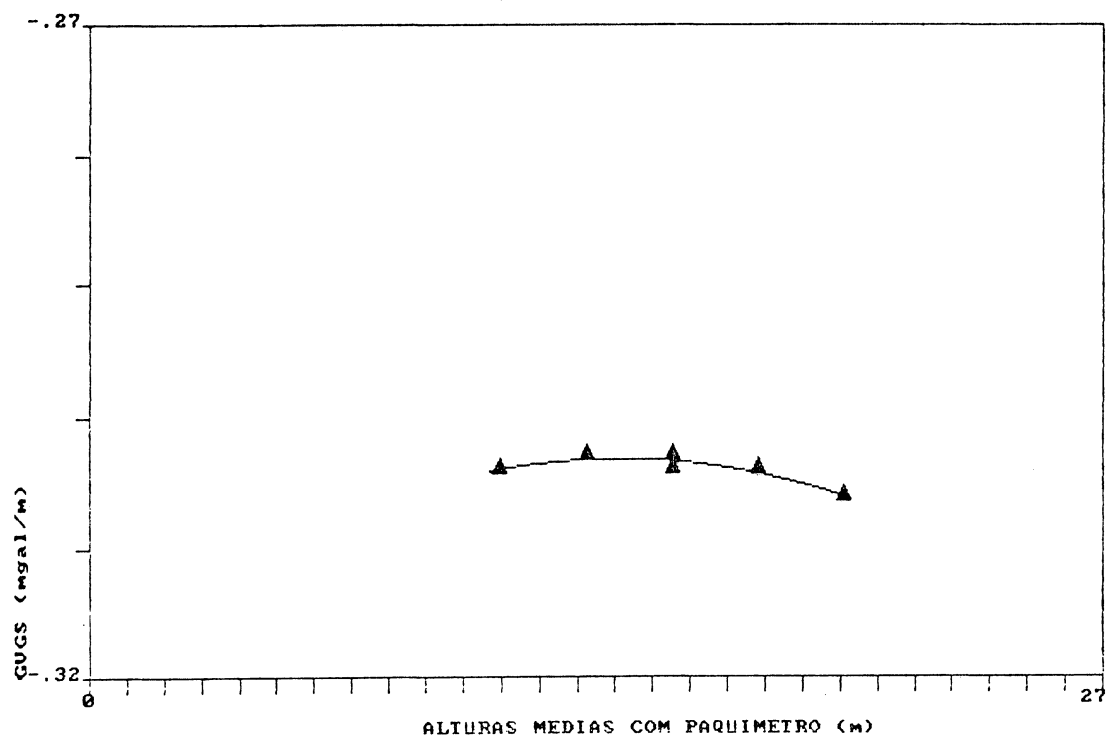


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-3.222E-01) + (7.569E-02)*X + (-7.590E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 3.846E-07

FIGURA 28 - VARIACAO DO GUG - CIRCUITO 10



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(-3.188E-01) + (5.971E-02)*X + (-5.705E-02)*X^2$$

THE VARIANCE - 1.117E-07

4.4 - Média, desvio padrão para uma observação isolada, desvio padrão da média e variância para GVGs obtidos mediante combinação entre todos os pontos de todos os circuitos

A despeito do fato de cada um dos circuitos pertencer a uma vertical diferente, calculou-se os GVGs obtidos pela combinação entre todos os pontos de medida, sem e com rejeição das leituras cujo σ foi maior de 0,005 mgal (Tabela 36).

	SEM rejeição de leituras	COM rejeição de leituras
n.º pontos	59	45
n.º GVGs	1711	990
GVG _{pl} (mGal/m)	- 0,302	- 0,302
σ	0,006	0,005
σ_n	0,000	0,000
σ_n^2	0,000000	0,000000
GVG _{paq} (mGal/m)	- 0,302	- 0,303
σ	0,006	0,005
σ_n	0,000	0,000
σ_n^2	0,000000	0,000000

Tabela 36 - Resultados obtidos mediante combinação entre todos os pontos.

5 - CONCLUSÕES

A medida de GVGs deveria acompanhar a execução de circuitos gravimétricos, visto que, suas variações, não tão incomuns (tabela 1), podem causar sérios prejuízos na determinação de anomalias da gravidade. Tal medida, acompanhando os circuitos, pode ser feita utilizando-se um tripé com duas plataformas, sendo a superior numa altura tal que permita o manuseio do gravímetro sem a utilização de escada.

No presente trabalho, porém, um caso particular de determinação de GVG, pode-se concluir, especificamente:

1º) As alturas obtidas através da planta do edifício, são na sua quase totalidade maiores que as obtidas por paquímetro (Anexo A), apresentando uma diferença média de 3,95 cm (nos 59 pontos utilizados) e uma diferença máxima de 7,61 cm (no ponto 25). Este fato repercute nos GVGs, sendo que os obtidos através das alturas de paquímetro, apresentam resultados menores em 0,001 mGal/m, em alguns dos circuitos individuais (tabelas 24 a 33).

2º) Apesar das leituras gravimétricas rejeitadas, cujo σ foi maior que 0,005 mGal, os GVGs obtidos com e sem esse critério de rejeição, não diferiram em mais de 0,001 mGal/m (tabelas 34 e 35).

3°) Os resultados obtidos mediante a combinação entre todos os pontos, apesar de não respeitar a condição de verticalidade, apresentou um GVG médio idêntico tanto para as alturas de planta como para as de paquímetro, sem a rejeição de leituras, e diferiu em 0,001 mGal/m entre os obtidos com rejeição de leituras (tabela 36).

4°) Quanto à correção da influência da massa do edifício (resultados no item 4.2), pode-se afirmar que, no presente caso, talvez pelo fato do edifício possuir apenas 4 andares, ou talvez pelas simplificações adotadas no seu cálculo, poderia ser desconsiderada, pois praticamente não influi nos GVGs obtidos.

Notas de Referência

|01| GEMAEL, C. Introdução a Geodésia Física.
Curitiba. UFPR, 1981. Apostila.

|02| Ibid.

|03| THYSSEN - BORNEMISZA, S. ; STACKLER, W. F.
Observation of the vertical gravity gradient in the field.
Geophysics, 21(3): 771-779, jul. 1956.

|04| Ibid.

|05| Ibid.

|06| Ibid.

|07| GROTEN, E. Microgravimetry - high precision
observations of small gravity differences. Bulletin
Géodésique, 115: 41-48, 1975.

|08| THYSSEN - BORNEMISZA, S. ; STACKLER, W. F.

|09| Ibid.

|10| Ibid.

|11| Ibid.

|12| KUMAGAI, N. et alii. Measurement of vertical gradient of gravity and its significance. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, 8: 607-630.

|13| BODEMÜLLER, H. Measurement and geodetic evaluation of vertical gradients of gravity. Bulletin Géodésique, 69: 261-279, 1963.

|14| FAJKLEWICZ, Z. Gravity vertical gradient measurements for the detection of small geologic and anthropogenic forms. Geophysics, 41(5): 1016-1030, out. 1976.

|15| AGER, C. A. e LIARD, J.O. Vertical gravity surveys: field results and interpretations in British Columbia, Canadá. Geophysics, 47(06):919-925, jun. 1982.

|16| BREIN, R. Some experiments in high precision measurements of small gravity differences to determine vertical gradients of gravity and to investigate recent crustal movements. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, 20(80): 333-344, dec. 1978.

|17| OGIER, M.; MILLON, R. Determination statistique du gradient vertical de la pesanteur sur le pilier A3 de Sevres (Hauts-de-Seine). Bulletin d'Information, 59:

168-183, dec. 1986.

|18| SCHNÜLL, M. et alii. And improved electronic feedback for LCR gravity meters. Bulletin d'Information, 55: 27-36, dez. 1984.

|19| GROTEN, E.

|20| CONSTANTINESCU, L. Main trends in research and applications concerning the vertical gradient of gravity. Bulletin D'Information, 13: 19-23, Bruxelles, jun. 1966.

|21| KUO, J.T. et alii. Variations of vertical gradient of gravity in New York City and Alpine, New Jersey. Geophysics, 34(2): 235-248, abr. 1969.

|22| LACOSTE AND ROMBERG, INC. Model D gravity meter. Instruction Manual. Austin, Texas.

|23| KUO, J.T. et alii.

|24| LACOSTE AND ROMBERG, INC.

|25| Ibid.

|26| SMÍSEK, K. et alii. The gravity effect of bodies of arbitrary shape computed by the horizontal prism

method. Contributions of the geophysical Inst. of Slovak
Academy of Sciences, 3: 59-67.

Referências Bibliográficas

01. AGER, C. A. e LIARD, J.O. Vertical gravity surveys:
field results and interpretations in British Columbia,
Canadá. Geophysics, 47(06):919-925, jun. 1982.

02. BECKER, M. Results of circular error studies with
Lacoste and Romberg gravity meters. IN: Gravity
Workshop of SSG 3.37 and 3.40. Paris, 1981. p. 72-94.

03. BLÍZKOVSKY, M. Processing and applications in
microgravity surveys. Geophysical Prospecting,
27(4): 848-861, dec. 1979.

04. BODEMÜLLER, H. Measurement and geodetic evaluation of
vertical gradients of gravity. Bulletin Géodésique,
69: 261-279, 1963.

05. BREIN, R. Some experiments in high precision
measurements of small gravity differences to
determine vertical gradients of gravity and to
investigate recent crustal movements. Bolletino di
Geofisica Teorica ed Applicata, 20(80): 333-344,
dec. 1978.

06. CASTEN, U.; GRAM, C. Recent developments in underground
gravity surveys. Geophysical Prospecting, 37(1):

73-91, jan. 1989.

07. CONSTANTINESCU, L. Main trends in research and applications concerning the vertical gradient of gravity. Bulletin D'Information, 13: 19-23, Bruxelas, jun. 1966.
08. FAJKLEWICZ, Z. Origin of the anomalies of gravity and its vertical gradient over cavities in brittle rock. Geophysical Prospecting, 34(8): 1233-1254, Amsterdam, dec.1986.
09. FAJKLEWICZ, Z. Gravity vertical gradient measurements for the detection of small geologic and anthropogenic forms. Geophysics. 41(5): 1016-1030, out. 1976.
10. GEMAEL, C. Determinação da gravidade em Geodésia. Curitiba, UFPR, 1985. Apostila.
11. GEMAEL, C. Introdução a Geodésia Física. Curitiba. UFPR, 1981. Apostila.
12. GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações. Curitiba. UFPR, 1984. Apostila.
13. GROTEN, E. High-precision gravimetry and related frames of references. Bollettino di Geodesia e Scienze

Affini, 40(2): 99, jun. 1981.

14. GROTEN, E. Measurements of vertical gravity gradient.

Bulletin Géodésique, 99: 135-136, 1971.

15. GROTEN, E. Microgravimetry - high precision

observations of small gravity differences. Bulletin
Géodésique, 115: 41-48, 1975.

16. GROTEN, E. Report on high precision gravimetry - vol. II.

Frankfurt, 1983, 103 p., Institut für Angewandte
"Geodasie.

17. HAMMER, S. The anomalous vertical gradient of gravity.

Geophysics, 35(01): 153-157, fev. 1970.

18. KUMAGAI, N. et alii. Measurement of vertical gradient of
gravity and its significance. Bolletino di Geofisica

Teorica ed Applicata, 8: 607-630.

19. KUO, J.T. et alii. Variations of vertical gradient of
gravity in New York City and Alpine, New Jersey.

Geophysics, 34(2): 235-248, abr. 1969.

20. LACOSTE AND ROMBERG, INC. Model D gravity meter.

Instruction Manual. Austin, Texas.

21. LACOSTE AND ROMBERG, INC. Model G gravity meter.
Instruction Manual. Austin, Texas.
22. MALZER, H. Measurements of vertical gradients of gravity. Studia geophysica et geodaetica, 14: 197-201, 1970.
23. MACCONNELL, R.K. et alii. And evaluation of the Lacoste-Romberg model D microgravimeter. Bulletin d'Information, 36: 35-45, mar. 1975.
24. OGIER, M.; MILLON, R. Determination statistique du gradient vertical de la pesanteur sur le pilier A3 de Sevres (Hauts-de-Seine). Bulletin d'Information, 59: 168-183, dec. 1986.
25. ROSIER, F.A. Medidas diferenciais da gravidade: ajustamentos de uma sub-rede de estações gravimétricas e determinação de coeficientes de escala para os gravímetros LCR modelo G n.ºs 41, 372 e 454. Curitiba, 1979, 190 p., tese, mestrado. UFPR.
26. SCHNULL, M. et alii. And improved electronic feedback for LCR gravity meters. Bulletin d'Information, 55: 27-36, dez. 1984.
27. SELEM, A.M.; MONNET, C. Application of vertical

- gradients and comparison of different geophysical methods in a difficult area. Geophysical Prospecting, 1(3): 208-219, sep. 1953.
28. SMÍSEK, K. et alii. The gravity effect of bodies of arbitrary shape computed by the horizontal prism method. Contributions of the geophysical Inst. of Slovak Academy of Sciences, 3: 59-67.
29. STEINHAUSER, P. Scale factor determinations of a Lacoste and Romberg gravimeter model D. Journal of Geophysics, 44(4): 395-396, 1978.
30. THYSSEN-BORNEMISZA, S. Discussion on "Variations of vertical gravity gradient in New York City and Alpine, New Jersey" by John T. Kuo et alii. Geophysics, 35(3): 521-522, jun. 1970.
- 31 . THYSSEN-BORNEMISZA, S. et alii. Correction of an accurate gravity surveys by carefully observed vertical gradients of gravity. Geophysical Prospecting, 20(1): 17-27, mar. 1972.
32. THYSSEN-BORNEMISZA, S.; STACKLER, W.F. Observation of the vertical gravity gradient in the field. Geophysics, 21(3): 771-779, jul. 1956.

33. WILLIAMS, O.W. Gradiometry - an assessment of the state-of-the-art. Bulletin d'Information, 36: 1-48, mar. 1975.

ANEXO A: tabela comparativa dos valores das alturas de planta (HP) e das alturas de paquímetro (HQ), para cada um dos pontos de medida.

Estação	HP (m)	HQ (m)	HP - HQ (m)
01	0,3000	0,3000	0,0000
02	0,7875	0,7711	0,0164
03	1,2750	1,2492	0,0258
04	1,7625	1,7393	0,0232
05	2,2500	2,2219	0,0281
06	2,7375	2,7114	0,0261
07	3,2250	3,2181	0,0069
08	3,5500	3,5595	-0,0095
09	3,8750	3,8935	-0,0185
10	4,3625	4,3753	-0,0128
11	4,8500	4,8445	0,0055
12	5,3375	5,3238	0,0137
13	5,8250	5,8005	0,0245
14	6,1500	6,1190	0,0310
15	6,4750	6,4510	0,0240
16	6,9625	6,9269	0,0356
17	7,4500	7,3978	0,0522
18	7,9375	7,8867	0,0508
19	8,4250	8,3744	0,0506
20	8,7500	8,7095	0,0405
21	9,0750	9,0139	0,0611
22	9,5625	9,4880	0,0745
23	10,0500	9,9764	0,0736
24	10,5375	10,4616	0,0759
25	11,0250	10,9489	0,0761
26	11,5125	11,4405	0,0720
27	12,0000	11,9302	0,0698
28	12,4875	12,4260	0,0615
29	12,9750	12,9097	0,0653
30	13,3000	13,2502	0,0498
31	13,6250	13,5790	0,0460
32	14,1125	14,0699	0,0426
33	14,6000	14,5580	0,0420

Estação	HP (m)	HQ (m)	HP - HQ (m)
34	15,0875	15,0477	0,0398
35	15,5750	15,5362	0,0388
36	16,0625	16,0316	0,0309
37	16,5500	16,5193	0,0307
38	17,0375	17,0059	0,0316
39	17,5250	17,4849	0,0401
40	17,8500	17,7968	0,0532
41	18,1750	18,1170	0,0580
42	18,6625	18,5945	0,0680
43	19,1500	19,0849	0,0651
44	19,6375	19,5774	0,0601
45	20,1250	20,0717	0,0533
46	20,6125	20,5863	0,0262
47	21,1000	21,0781	0,0219
48	21,5875	21,5611	0,0264
49	22,0750	22,0455	0,0295
50	22,4000	22,3721	0,0279
51	22,9082	22,8829	0,0253
52	23,4164	23,3881	0,0283
53	23,9264	23,8779	0,0485
54	24,4328	24,3897	0,0431
55	24,9410	24,8945	0,0465
56	25,4492	25,4034	0,0458
57	25,9574	25,9190	0,0384
58	26,4656	26,4149	0,0507
59	26,9738	26,9199	0,0539

ANEXO B: Testes de sensibilidade dos níveis longitudinal e transversal e posicionamento correto da linha de leitura no gravímetro LCR modelo D, número 99.

Os testes abaixo foram realizados no dia 12 de janeiro de 1988, de acordo com o Manual de Instruções do gravímetro LCR modelo D.

1. Teste de sensibilidade do nível A (longitudinal)

Sendo o esbarro inferior igual a 1,9 e o esbarro superior igual a 3,3, colocou-se o fiel na graduação 2,0.

Na primeira verificação, efetuando-se 10 rotações no parafuso micrométrico, o fiel deslocou-se 4 divisões na escala. Portanto, foi constatada baixa sensibilidade do nível A. Tentando aumentar sua sensibilidade, atuando no parafuso de retificação próprio do nível, deslocou-se a bolha 2 unidades para a esquerda.

Feito isto, girou-se novamente o parafuso micrométrico em 10 rotações e verificou-se que o fiel percorreu apenas 3 divisões da escala. Consequentemente, a sensibilidade piorou.

Atuando então no parafuso de retificação do nível, deslocou-se a bolha, agora, em 3 unidades para a direita, e efetuando 10 rotações no parafuso micrométrico o fiel deslocou-se 7 divisões da escala. Constatou-se que a sensibilidade melhorou, mas ainda não alcançou o intervalo entre 9 e 11 divisões, considerado como ideal.

Novamente, com o parafuso de retificação do nível, deslocou-se a bolha em 1 unidade, para a direita, e efetuando 10 rotações no parafuso micrométrico, o fiel agora moveu-se 13 divisões da escala e encostou no esbarro superior (3,3). Portanto foi necessário um novo ajuste.

Desta vez, com o parafuso de retificação do nível, deslocou-se a bolha em $1/2$ divisão para a esquerda e após girar o parafuso micrométrico 10 vezes, o fiel parou na graduação 3,0. Portanto, percorreu 10 divisões da escala e considerou-se o nível A OK.

2. Posicionamento correto da Linha de Leitura (L.L.)

1.º) Considerando a L.L igual a 2,4 e inclinando o nível A uma divisão para a direita obteve-se a leitura 2,5 e inclinando novamente o nível A, agora para a esquerda, obteve-se a leitura de 2,2.

2.º) Considerando a L.L igual a 2,5 e inclinando o nível A uma divisão para a direita, obteve-se a leitura 2,53 e inclinando novamente o nível A, agora para a esquerda, obteve-se a leitura 2,48.

3.º) Considerando a L.L. igual a 2,6 e inclinando o nível A uma divisão para a direita, obteve-se a leitura 2,61 (quase imperceptível), e inclinando o nível A uma divisão

para a esquerda obteve-se a leitura 2,68.

4.º) Considerando ainda a L.L. igual a 2,8 e inclinando o nível A uma divisão para a direita obteve-se a leitura 2,72 e inclinando novamente para a esquerda, obteve-se a leitura de 3,1.

5.º) Considerando, finalmente a L.L. igual a 2,9 e inclinando o nível A uma divisão para a direita obteve-se a leitura 2,8 e inclinando para a esquerda, obteve-se 3,3.

Portanto, devido à igualdade de deslocamentos, para a direita e para a esquerda, considerou-se como correta a posição 2,5 para a L.L.

3. Teste de sensibilidade do nível B (transversal)

Considerando a L.L. de 2,5 e inclinando o nível B uma divisão para baixo, obteve-se a posição 2,52 e inclinando o nível B uma divisão para cima, obteve-se a posição 2,49. Portanto, considerou-se o nível B OK.

Os testes acima foram repetidos nos dias 16/01/1988, 22/01/1988 e 01/02/1988, durante e após as medições sendo que, apresentaram sempre os mesmos resultados, para a posição de 2,5 da L.L. definida no dia 12/01/1988.

Anexo C: listagem contendo a média das leituras gravimétricas efetuadas, com as respectivas data e hora de observação, para cada um dos circuitos.

00100	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00200							
00300	01	14	1	88	12	28	52.1246
00400	21	14	1	88	13	12	49.7773
00500	31	14	1	88	13	29	48.5119
00600	41	14	1	88	13	47	47.2552
00700	1	14	1	88	14	50	52.1879
00800	1	19	1	88	13	32	51.9581
00900	21	19	1	88	14	8	49.6063
01000	31	19	1	88	14	21	48.3464
01100	41	19	1	88	14	33	47.0863
01200	1	19	1	88	15	3	52.0243
01300	1	21	1	88	9	32	52.1968
01400	21	21	1	88	10	7	49.7923
01500	31	21	1	88	10	19	48.5071
01600	41	21	1	88	10	33	47.2240
01700	1	21	1	88	11	14	52.0899
01800	1	23	1	88	11	15	52.1723
01900	21	23	1	88	11	40	49.7861
02000	31	23	1	88	11	59	48.5026
02100	41	23	1	88	12	3	47.2312
02200	1	23	1	88	12	25	52.1266
02300	1	24	1	88	10	49	52.1811
02400	21	24	1	88	11	14	49.8032
02500	31	24	1	88	11	24	48.5315
02600	41	24	1	88	11	35	47.2600
02700	1	24	1	88	11	55	52.1659
02800	1	25	1	88	8	58	52.1261
02900	21	25	1	88	9	31	49.7630
03000	31	25	1	88	9	43	48.4959
03100	41	25	1	88	9	54	47.2321
03200	1	25	1	88	10	19	52.1463
03300	1	26	1	88	9	16	52.0922
03400	21	26	1	88	9	48	49.7301
03500	31	26	1	88	10	1	48.4638
03600	41	26	1	88	10	12	47.1999
03700	1	26	1	88	10	36	52.1171
03800	1	27	1	88	8	56	52.0629
03900	21	27	1	88	9	24	49.6936
04000	31	27	1	88	9	35	48.4222
04100	41	27	1	88	9	48	47.1583
04200	1	27	1	88	10	10	52.0759
04300	1	28	1	88	9	5	52.0479
04400	21	28	1	88	9	35	49.6733
04500	31	28	1	88	9	46	48.4009
04600	41	28	1	88	9	56	47.1350
04700	1	28	1	88	10	18	52.0489
04800	1	29	1	88	9	4	52.0437
04900	21	29	1	88	10	29	49.6587
05000	31	29	1	88	11	7	48.3919
05100	41	29	1	88	11	39	47.1348
05200	1	29	1	88	12	46	52.0730
05300							

	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00100							
00200							
00300	2	14	1	88	12	34	51.9942
00400	22	14	1	88	13	16	49.6377
00500	32	14	1	88	13	34	48.3813
00600	42	14	1	88	13	53	47.1326
00700	2	14	1	88	14	56	52.0550
00800	2	19	1	88	13	36	51.8293
00900	22	19	1	88	14	11	49.4699
01000	32	19	1	88	14	24	48.2137
01100	42	19	1	88	14	37	46.9672
01200	2	19	1	88	15	8	51.8990
01300	2	21	1	88	9	37	52.0592
01400	22	21	1	88	10	11	49.6488
01500	32	21	1	88	10	24	48.3665
01600	42	21	1	88	10	38	47.0958
01700	2	21	1	88	11	9	51.9647
01800	2	23	1	88	11	18	52.0342
01900	22	23	1	88	11	43	49.6453
02000	32	23	1	88	11	51	48.3735
02100	42	23	1	88	12	7	47.1058
02200	2	23	1	88	12	28	51.9919
02300	2	24	1	88	10	53	52.0487
02400	22	24	1	88	11	17	49.6651
02500	32	24	1	88	11	27	48.3943
02600	42	24	1	88	11	38	47.1330
02700	2	24	1	88	11	58	52.0343
02800	2	25	1	88	9	2	51.9949
02900	22	25	1	88	9	35	49.6270
03000	32	25	1	88	9	47	48.3629
03100	42	25	1	88	9	58	47.1079
03200	2	25	1	88	10	22	52.0166
03300	2	26	1	88	9	22	51.9600
03400	22	26	1	88	9	52	49.5938
03500	32	26	1	88	10	4	48.3271
03600	42	26	1	88	10	15	47.0728
03700	2	26	1	88	10	39	51.9846
03800	2	27	1	88	9	0	51.9263
03900	22	27	1	88	9	27	49.5510
04000	32	27	1	88	9	38	48.2898
04100	42	27	1	88	9	51	47.0339
04200	2	27	1	88	10	14	51.9401
04300	2	28	1	88	9	9	51.9157
04400	22	28	1	88	9	38	49.5341
04500	32	28	1	88	9	48	48.2678
04600	42	28	1	88	9	59	47.0093
04700	2	28	1	88	10	22	51.9174
04800	2	29	1	88	9	9	51.9083
04900	22	29	1	88	10	33	49.5188
05000	32	29	1	88	11	10	48.2583
05100	42	29	1	88	11	41	47.0102
05200	2	29	1	88	12	48	51.9436
05300							

00100	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00200							
00300	3	14	1	88	12	39	51.8592
00400	9	14	1	88	12	51	51.1743
00500	15	14	1	88	13	4	50.4898
00600	23	14	1	88	13	22	49.5136
00700	33	14	1	88	13	40	48.2565
00800	43	14	1	88	13	59	47.0061
00900	59	14	1	88	14	4	45.9559
01000	57	14	1	88	14	11	45.1133
01100	3	14	1	88	15	1	51.9173
01200	3	19	1	88	13	41	51.6930
01300	9	19	1	88	13	51	51.0207
01400	15	19	1	88	14	3	50.3107
01500	23	19	1	88	14	15	49.3448
01600	33	19	1	88	14	28	48.0870
01700	43	19	1	88	14	42	46.8423
01800	51	19	1	88	14	47	45.7938
01900	57	19	1	88	14	53	44.9510
02000	3	19	1	88	15	11	51.7613
02100	3	21	1	88	9	41	51.9138
02200	9	21	1	88	9	51	51.2190
02300	15	21	1	88	10	1	50.5127
02400	23	21	1	88	10	16	49.5118
02500	33	21	1	88	10	28	48.2361
02600	43	21	1	88	10	44	46.9599
02700	51	21	1	88	10	49	45.9025
02800	57	21	1	88	10	54	45.0487
02900	3	21	1	88	11	19	51.8109
03000	3	23	1	88	11	22	51.8973
03100	9	23	1	88	11	29	51.2091
03200	15	23	1	88	11	37	50.5026
03300	23	23	1	88	11	46	49.5155
03400	33	23	1	88	11	54	48.2427
03500	43	23	1	88	12	10	46.9738
03600	51	23	1	88	12	14	45.9176
03700	57	23	1	88	12	17	45.0670
03800	3	23	1	88	12	32	51.8544
03900	3	24	1	88	10	56	51.9052
04000	9	24	1	88	11	3	51.2220
04100	15	24	1	88	11	10	50.5218
04200	23	24	1	88	11	21	49.5331
04300	33	24	1	88	11	31	48.2671
04400	43	24	1	88	11	41	47.0044
04500	51	24	1	88	11	46	45.9513
04600	57	24	1	88	11	50	45.1010
04700	3	24	1	88	12	0	51.8909
04800	3	25	1	88	9	5	51.8540
04900	9	25	1	88	9	15	51.1688
05000	15	25	1	88	9	27	50.4642
05100	23	25	1	88	9	38	49.4960
05200	33	25	1	88	9	51	48.2361
05300	43	25	1	88	10	2	46.9799

05400	51	25	1	88	10	6	45.9273
05500	57	25	1	88	10	11	45.0833
05600	3	25	1	88	10	26	51.8758
05700	3	26	1	88	9	26	51.8230
05800	9	26	1	88	9	34	51.1459
05900	15	26	1	88	9	43	50.4377
06000	23	26	1	88	9	56	49.4640
06100	33	26	1	88	10	8	48.2009
06200	43	26	1	88	10	19	46.9498
06300	51	26	1	88	10	24	45.8941
06400	57	26	1	88	10	29	45.0540
06500	3	26	1	88	10	43	51.8459
06600	3	27	1	88	9	4	51.7909
06700	9	27	1	88	9	12	51.1039
06800	15	27	1	88	9	19	50.3957
06900	23	27	1	88	9	30	49.4255
07000	33	27	1	88	9	42	48.1619
07100	43	27	1	88	9	55	46.9038
07200	51	27	1	88	10	0	45.8541
07300	57	27	1	88	10	4	45.0071
07400	3	27	1	88	10	18	51.8037
07500	3	28	1	88	9	13	51.7762
07600	9	28	1	88	9	21	51.0957
07700	15	28	1	88	9	30	50.3830
07800	23	28	1	88	9	42	49.4051
07900	33	28	1	88	9	52	48.1395
08000	43	28	1	88	10	3	46.8823
08100	51	28	1	88	10	7	45.8286
08200	57	28	1	88	10	12	44.9852
08300	3	28	1	88	10	25	51.7793
08400	3	29	1	88	9	12	51.7690
08500	9	29	1	88	9	35	51.0865
08600	15	29	1	88	10	4	50.3600
08700	23	29	1	88	10	36	49.3905
08800	33	29	1	88	11	13	48.1308
08900	43	29	1	88	11	45	46.8828
09000	51	29	1	88	12	8	45.8404
09100	57	29	1	88	12	25	45.0037
09200	3	29	1	88	12	52	51.8082
09300							

00100	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00200							
00300	4	13	1	88	13	3	51.7591
00400	10	13	1	88	13	19	51.0849
00500	16	13	1	88	13	34	50.3783
00600	24	13	1	88	13	51	49.3967
00700	34	13	1	88	14	3	48.1349
00800	44	13	1	88	14	18	46.8721
00900	52	13	1	88	14	36	45.8296
01000	58	13	1	88	14	49	44.9799
01100	4	13	1	88	15	4	51.7699
01200	4	18	1	88	12	46	51.5540
01300	10	18	1	88	13	0	50.8919
01400	16	18	1	88	13	14	50.1771
01500	24	18	1	88	13	29	49.2079
01600	34	18	1	88	13	44	47.9519
01700	44	18	1	88	13	59	46.7069
01800	52	18	1	88	14	15	45.6756
01900	58	18	1	88	14	30	44.8368
02000	4	18	1	88	14	45	51.6450
02100	4	21	1	88	11	25	51.6838
02200	10	21	1	88	11	39	50.9915
02300	16	21	1	88	11	53	50.2687
02400	24	21	1	88	12	13	49.2649
02500	34	21	1	88	12	29	47.9854
02600	44	21	1	88	12	46	46.7123
02700	52	21	1	88	13	2	45.6544
02800	58	21	1	88	13	15	44.7922
02900	4	21	1	88	13	30	51.5823
03000	4	23	1	88	9	33	51.7963
03100	10	23	1	88	9	46	51.1190
03200	16	23	1	88	9	56	50.4121
03300	24	23	1	88	10	8	49.4181
03400	34	23	1	88	10	20	48.1526
03500	44	23	1	88	10	32	46.8880
03600	52	23	1	88	10	42	45.8362
03700	58	23	1	88	10	53	44.9780
03800	4	23	1	88	11	2	51.7690
03900	4	24	1	88	9	18	51.7640
04000	10	24	1	88	9	29	51.0792
04100	16	24	1	88	9	38	50.3728
04200	24	24	1	88	9	48	49.3990
04300	34	24	1	88	10	0	48.1351
04400	44	24	1	88	10	10	46.8766
04500	52	24	1	88	10	21	45.8321
04600	58	24	1	88	10	31	44.9799
04700	4	24	1	88	10	38	51.7721
04800	4	25	1	88	10	29	51.7513
04900	10	25	1	88	10	41	51.0673
05000	16	25	1	88	10	52	50.3639
05100	24	25	1	88	11	4	49.3849
05200	34	25	1	88	11	19	48.1221
05300	44	25	1	88	11	31	46.8619

05400	52	25	1	88	11	42	45.8177
05500	58	25	1	88	11	54	44.9659
05600	4	25	1	88	12	5	51.7593
05700	4	26	1	88	10	47	51.7230
05800	10	26	1	88	10	59	51.0408
05900	16	26	1	88	11	9	50.3409
06000	24	26	1	88	11	20	49.3599
06100	34	26	1	88	11	32	48.0998
06200	44	26	1	88	11	45	46.8429
06300	52	26	1	88	11	56	45.7985
06400	58	26	1	88	12	9	44.9490
06500	4	26	1	88	12	17	51.7479
06600	4	27	1	88	10	22	51.6748
06700	10	27	1	88	10	37	51.0052
06800	16	27	1	88	10	51	50.3006
06900	24	27	1	88	11	4	49.3170
07000	34	27	1	88	11	17	48.0595
07100	44	27	1	88	11	30	46.8021
07200	52	27	1	88	11	43	45.7644
07300	58	27	1	88	11	54	44.9139
07400	4	27	1	88	12	5	51.7109
07500	4	28	1	88	10	30	51.6499
07600	10	28	1	88	10	41	50.9796
07700	16	28	1	88	10	54	50.2577
07800	24	28	1	88	11	22	49.2940
07900	34	28	1	88	11	33	48.0351
08000	44	28	1	88	11	43	46.7779
08100	52	28	1	88	11	53	45.7350
08200	58	28	1	88	12	3	44.8860
08300	4	28	1	88	12	12	51.6859
08400	4	29	1	88	9	15	51.6357
08500	10	29	1	88	9	39	50.9467
08600	16	29	1	88	10	7	50.2303
08700	24	29	1	88	10	40	49.2545
08800	34	29	1	88	11	16	47.9976
08900	44	29	1	88	11	48	46.7477
09000	52	29	1	88	12	10	45.7120
09100	58	29	1	88	12	29	44.8702
09200	4	29	1	88	12	55	51.6738
09300							

	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00100							
00200							
00300	5	13	1	88	13	11	51.6351
00400	11	13	1	88	13	26	50.9689
00500	17	13	1	88	13	41	50.2505
00600	25	13	1	88	13	56	49.2671
00700	35	13	1	88	14	10	48.0063
00800	45	13	1	88	14	24	46.7419
00900	53	13	1	88	14	42	45.6970
01000	59	13	1	88	14	55	44.8463
01100	5	13	1	88	15	9	51.6459
01200	5	18	1	88	12	51	51.4402
01300	11	18	1	88	13	3	50.7688
01400	17	18	1	88	13	19	50.0523
01500	25	18	1	88	13	34	49.0845
01600	35	18	1	88	13	48	47.8299
01700	45	18	1	88	14	4	46.5751
01800	53	18	1	88	14	21	45.5473
01900	59	18	1	88	14	35	44.7061
02000	5	18	1	88	14	51	51.5298
02100	5	21	1	88	11	28	51.5453
02200	11	21	1	88	11	44	50.8673
02300	17	21	1	88	11	59	50.1192
02400	25	21	1	88	12	16	49.1300
02500	35	21	1	88	12	32	47.8512
02600	45	21	1	88	12	49	46.5723
02700	53	21	1	88	13	6	45.5142
02800	59	21	1	88	13	18	44.6531
02900	5	21	1	88	13	34	51.4521
03000	5	23	1	88	9	36	51.6763
03100	11	23	1	88	9	49	51.0076
03200	17	23	1	88	10	0	50.2740
03300	25	23	1	88	10	12	49.2928
03400	35	23	1	88	10	24	48.0234
03500	45	23	1	88	10	35	46.7541
03600	53	23	1	88	10	46	45.6999
03700	59	23	1	88	10	56	44.8425
03800	5	23	1	88	11	6	51.6453
03900	5	24	1	88	9	22	51.6458
04000	11	24	1	88	9	31	50.9709
04100	17	24	1	88	9	41	50.2490
04200	25	24	1	88	9	51	49.2708
04300	35	24	1	88	10	3	48.0061
04400	45	24	1	88	10	13	46.7413
04500	53	24	1	88	10	24	45.6945
04600	59	24	1	88	10	33	44.8402
04700	5	24	1	88	10	41	51.6450
04800	5	25	1	88	10	32	51.6138
04900	11	25	1	88	10	44	50.9583
05000	17	25	1	88	10	55	50.2368
05100	25	25	1	88	11	9	49.2540
05200	35	25	1	88	11	23	47.9913
05300	45	25	1	88	11	35	46.7251

05400	53	25	1	88	11	46	45.6812
05500	59	25	1	88	11	58	44.8233
05600	5	25	1	88	12	9	51.6300
05700	5	26	1	88	10	52	51.5937
05800	11	26	1	88	11	3	50.9310
05900	17	26	1	88	11	13	50.2042
06000	25	26	1	88	11	24	49.2307
06100	35	26	1	88	11	36	47.9724
06200	45	26	1	88	11	49	46.7091
06300	53	26	1	88	11	59	45.6648
06400	59	26	1	88	12	12	44.8203
06500	5	26	1	88	12	21	51.6223
06600	5	27	1	88	10	27	51.5489
06700	11	27	1	88	10	42	50.8870
06800	17	27	1	88	10	55	50.1583
06900	25	27	1	88	11	7	49.1926
07000	35	27	1	88	11	21	47.9349
07100	45	27	1	88	11	36	46.6751
07200	53	27	1	88	11	46	45.6298
07300	59	27	1	88	11	59	44.7864
07400	5	27	1	88	12	10	51.5873
07500	5	28	1	88	10	34	51.5227
07600	11	28	1	88	10	46	50.8504
07700	17	28	1	88	10	58	50.1341
07800	25	28	1	88	11	27	49.1651
07900	35	28	1	88	11	36	47.9039
08000	45	28	1	88	11	46	46.6421
08100	53	28	1	88	11	56	45.6023
08200	59	28	1	88	12	6	44.7475
08300	5	28	1	88	12	16	51.5601
08400	5	29	1	88	9	19	51.5188
08500	11	29	1	88	9	44	50.8330
08600	17	29	1	88	10	10	50.1095
08700	25	29	1	88	10	44	49.1270
08800	35	29	1	88	11	19	47.8693
08900	45	29	1	88	11	51	46.6149
09000	53	29	1	88	12	13	45.5784
09100	59	29	1	88	12	32	44.7352
09200	5	29	1	88	12	58	51.5477
09300							

	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00100							
00200							
00300	6	15	1	88	13	20	51.4702
00400	12	15	1	88	13	37	50.7777
00500	18	15	1	88	13	56	50.0809
00600	26	15	1	88	14	22	49.1151
00700	36	15	1	88	14	36	47.8752
00800	46	15	1	88	14	52	46.6123
00900	54	15	1	88	15	8	45.5651
01000	6	15	1	88	15	26	51.5489
01100	6	18	1	88	12	55	51.3104
01200	12	18	1	88	13	8	50.6150
01300	18	18	1	88	13	24	49.9132
01400	26	18	1	88	13	38	48.9398
01500	36	18	1	88	13	54	47.7023
01600	46	18	1	88	14	8	46.4427
01700	54	18	1	88	14	25	45.4032
01800	6	18	1	88	14	56	51.4109
01900	6	21	1	88	11	32	51.4261
02000	12	21	1	88	11	48	50.7064
02100	18	21	1	88	12	4	49.9813
02200	26	21	1	88	12	19	48.9831
02300	36	21	1	88	12	36	47.7178
02400	46	21	1	88	12	53	46.4309
02500	54	21	1	88	13	11	45.3692
02600	6	21	1	88	13	39	51.3317
02700	6	23	1	88	9	41	51.5544
02800	12	23	1	88	9	53	50.8462
02900	18	23	1	88	10	4	50.1332
03000	26	23	1	88	10	15	49.1370
03100	36	23	1	88	10	27	47.8792
03200	46	23	1	88	10	38	46.5977
03300	54	23	1	88	10	49	45.5437
03400	6	23	1	88	11	9	51.5199
03500	6	24	1	88	9	25	51.5249
03600	12	24	1	88	9	35	50.8206
03700	18	24	1	88	9	45	50.1121
03800	26	24	1	88	9	54	49.1273
03900	36	24	1	88	10	6	47.8741
04000	46	24	1	88	10	15	46.6008
04100	54	24	1	88	10	27	45.5487
04200	6	24	1	88	10	43	51.5253
04300	6	25	1	88	10	36	51.5032
04400	12	25	1	88	10	47	50.8023
04500	18	25	1	88	10	59	50.0922
04600	26	25	1	88	11	13	49.1123
04700	36	25	1	88	11	27	47.8619
04800	46	25	1	88	11	39	46.5897
04900	54	25	1	88	11	50	45.5343
05000	6	25	1	88	12	12	51.5094
05100	6	26	1	88	10	55	51.4799
05200	12	26	1	88	11	6	50.7786
05300	18	26	1	88	11	16	50.0693

05400	26	26	1	88	11	28	49.0826
05500	36	26	1	88	11	40	47.8341
05600	46	26	1	88	11	52	46.5603
05700	54	26	1	88	12	5	45.5110
05800	6	26	1	88	12	24	51.5013
05900	6	27	1	88	10	32	51.4369
06000	12	27	1	88	10	46	50.7338
06100	18	27	1	88	10	58	50.0291
06200	26	27	1	88	11	10	49.0398
06300	36	27	1	88	11	26	47.7933
06400	46	27	1	88	11	39	46.5267
06500	54	27	1	88	11	50	45.4741
06600	6	27	1	88	12	13	51.4731
06700	6	28	1	88	10	36	51.4019
06800	12	28	1	88	10	51	50.7018
06900	18	28	1	88	11	2	49.9960
07000	26	28	1	88	11	30	49.0229
07100	36	28	1	88	11	39	47.7751
07200	46	28	1	88	11	49	46.5063
07300	54	28	1	88	11	59	45.4561
07400	6	28	1	88	12	19	51.4409
07500	6	29	1	88	9	22	51.3883
07600	12	29	1	88	9	48	50.6781
07700	18	29	1	88	10	13	49.9648
07800	26	29	1	88	10	48	48.9773
07900	36	29	1	88	11	22	47.7318
08000	46	29	1	88	11	54	46.4682
08100	54	29	1	88	12	16	45.4247
08200	6	29	1	88	13	1	51.4299
08300							

00100	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00200							
00300	7	15	1	88	13	25	51.3398
00400	13	15	1	88	13	42	50.6497
00500	19	15	1	88	14	1	49.9570
00600	27	15	1	88	14	26	48.9791
00700	37	15	1	88	14	41	47.7293
00800	47	15	1	88	14	56	46.4700
00900	55	15	1	88	15	13	45.4182
01000	7	15	1	88	15	32	51.4157
01100	7	20	1	88	10	40	51.2859
01200	13	20	1	88	10	54	50.5693
01300	19	20	1	88	11	3	49.8524
01400	27	20	1	88	11	13	48.8483
01500	37	20	1	88	11	26	47.5651
01600	47	20	1	88	11	39	46.2863
01700	55	20	1	88	11	51	45.2114
01800	7	20	1	88	12	6	51.1960
01900	7	21	1	88	13	43	51.1970
02000	13	21	1	88	13	52	50.4944
02100	19	21	1	88	14	1	49.7863
02200	27	21	1	88	14	9	48.7936
02300	37	21	1	88	14	21	47.5316
02400	47	21	1	88	14	34	46.2682
02500	55	21	1	88	14	51	45.2099
02600	7	21	1	88	15	6	51.2031
02700	7	23	1	88	12	36	51.3330
02800	13	23	1	88	12	41	50.6287
02900	19	23	1	88	12	48	49.9180
03000	27	23	1	88	13	1	48.9152
03100	37	23	1	88	13	15	47.6459
03200	47	23	1	88	13	28	46.3726
03300	55	23	1	88	13	41	45.3032
03400	7	23	1	88	13	55	51.2861
03500	7	24	1	88	12	4	51.3798
03600	13	24	1	88	12	9	50.6753
03700	19	24	1	88	12	16	49.9663
03800	27	24	1	88	12	26	48.9671
03900	37	24	1	88	12	39	47.7013
04000	47	24	1	88	12	53	46.4299
04100	55	24	1	88	13	6	45.3622
04200	7	24	1	88	13	22	51.3481
04300	7	25	1	88	13	11	51.3778
04400	13	25	1	88	13	19	50.6735
04500	19	25	1	88	13	26	49.9658
04600	27	25	1	88	13	34	48.9686
04700	37	25	1	88	13	42	47.7050
04800	47	25	1	88	13	52	46.4392
04900	55	25	1	88	14	0	45.3731
05000	7	25	1	88	14	10	51.3642
05100	7	26	1	88	13	36	51.3849
05200	13	26	1	88	13	43	50.6817
05300	19	26	1	88	13	52	49.9753

05400	27	26	1	88	14	1	48.9790
05500	37	26	1	88	14	8	47.7191
05600	47	26	1	88	14	18	46.4559
05700	55	26	1	88	14	26	45.3928
05800	7	26	1	88	14	36	51.3852
05900	7	27	1	88	12	16	51.3365
06000	13	27	1	88	12	25	50.6397
06100	19	27	1	88	12	34	49.9380
06200	27	27	1	88	12	45	48.9479
06300	37	27	1	88	13	0	47.6921
06400	47	27	1	88	13	16	46.4343
06500	55	27	1	88	13	30	45.3780
06600	7	27	1	88	13	51	51.3732
06700	7	28	1	88	12	23	51.3151
06800	13	28	1	88	12	30	50.6159
06900	19	28	1	88	12	36	49.9113
07000	27	28	1	88	12	46	48.9236
07100	37	28	1	88	13	2	47.6621
07200	47	28	1	88	13	17	46.4053
07300	55	28	1	88	13	31	45.3525
07400	7	28	1	88	13	49	51.3581
07500	7	29	1	88	9	25	51.2486
07600	13	29	1	88	9	52	50.5410
07700	19	29	1	88	10	17	49.8334
07800	27	29	1	88	10	51	48.8411
07900	37	29	1	88	11	26	47.5807
08000	47	29	1	88	11	57	46.3270
08100	55	29	1	88	12	19	45.2704
08200	7	29	1	88	13	5	51.2966
08300							

	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00100							
00200							
00300	8	15	1	88	13	29	51.2502
00400	14	15	1	88	13	49	50.5651
00500	28	15	1	88	14	29	48.8385
00600	38	15	1	88	14	46	47.5981
00700	48	15	1	88	15	0	46.3307
00800	56	15	1	88	15	17	45.2760
00900	8	15	1	88	15	37	51.3251
01000	8	20	1	88	10	45	51.1967
01100	14	20	1	88	10	58	50.4788
01200	28	20	1	88	11	16	48.7029
01300	38	20	1	88	11	31	47.4391
01400	48	20	1	88	11	44	46.1499
01500	56	20	1	88	11	55	45.0784
01600	8	20	1	88	12	10	51.1120
01700	8	21	1	88	13	47	51.1141
01800	14	21	1	88	13	56	50.4060
01900	28	21	1	88	14	12	48.6498
02000	38	21	1	88	14	25	47.4021
02100	48	21	1	88	14	37	46.1275
02200	56	21	1	88	14	55	45.0699
02300	8	21	1	88	15	9	51.1213
02400	8	23	1	88	12	37	51.2431
02500	14	23	1	88	12	45	50.5400
02600	28	23	1	88	13	4	48.7707
02700	38	23	1	88	13	18	47.5135
02800	48	23	1	88	13	31	46.2301
02900	56	23	1	88	13	43	45.1610
03000	8	23	1	88	13	58	51.1971
03100	8	24	1	88	12	6	51.2898
03200	14	24	1	88	12	12	50.5863
03300	28	24	1	88	12	29	48.8237
03400	38	24	1	88	12	43	47.5696
03500	48	24	1	88	12	56	46.2868
03600	56	24	1	88	13	10	45.2192
03700	8	24	1	88	13	24	51.2589
03800	8	25	1	88	13	14	51.2879
03900	14	25	1	88	13	22	50.5831
04000	28	25	1	88	13	37	48.8261
04100	38	25	1	88	13	46	47.5759
04200	48	25	1	88	13	55	46.2976
04300	56	25	1	88	14	4	45.2341
04400	8	25	1	88	14	15	51.2738
04500	8	26	1	88	13	39	51.2912
04600	14	26	1	88	13	47	50.5920
04700	28	26	1	88	14	5	48.8362
04800	38	26	1	88	14	13	47.5871
04900	48	26	1	88	14	22	46.3120
05000	56	26	1	88	14	30	45.2513
05100	8	26	1	88	14	40	51.2931
05200	8	27	1	88	12	19	51.2560
05300	14	27	1	88	12	29	50.5579

05400	28	27	1	88	12	49	48.8091
05500	38	27	1	88	13	4	47.5667
05600	48	27	1	88	13	20	46.2963
05700	56	27	1	88	13	36	45.2391
05800	8	27	1	88	13	55	51.2889
05900	8	28	1	88	12	27	51.2271
06000	14	28	1	88	12	33	50.5280
06100	28	28	1	88	12	50	48.7816
06200	38	28	1	88	13	6	47.5403
06300	48	28	1	88	13	21	46.2749
06400	56	28	1	88	13	35	45.2180
06500	8	28	1	88	13	54	51.2751
06600	8	29	1	88	9	29	51.1596
06700	14	29	1	88	9	57	50.4534
06800	28	29	1	88	10	56	48.6860
06900	38	29	1	88	11	28	47.4443
07000	48	29	1	88	12	0	46.1760
07100	56	29	1	88	12	22	45.1244
07200	8	29	1	88	13	9	51.2055
07300							

	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	MIN	LEIT.MEDIA
00100							
00200							
00300	29	14	1	88	14	21	48.7161
00400	39	14	1	88	14	26	47.4579
00500	49	14	1	88	14	35	46.1978
00600	29	14	1	88	14	42	48.7221
00700	29	20	1	88	11	21	48.5649
00800	39	20	1	88	11	34	47.2937
00900	49	20	1	88	11	47	46.0178
01000	29	20	1	88	12	1	48.5261
01100	29	21	1	88	14	15	48.5129
01200	39	21	1	88	14	29	47.2570
01300	49	21	1	88	14	42	45.9973
01400	29	21	1	88	15	0	48.5217
01500	29	23	1	88	13	7	48.6379
01600	39	23	1	88	13	21	47.3698
01700	49	23	1	88	13	34	46.0980
01800	29	23	1	88	13	47	48.6143
01900	29	24	1	88	12	32	48.6899
02000	39	24	1	88	12	46	47.4251
02100	49	24	1	88	12	59	46.1577
02200	29	24	1	88	13	14	48.6710
02300	29	25	1	88	12	24	48.6840
02400	39	25	1	88	12	33	47.4261
02500	49	25	1	88	12	41	46.1632
02600	29	25	1	88	12	50	48.6858
02700	29	26	1	88	12	36	48.6937
02800	39	26	1	88	12	43	47.4346
02900	49	26	1	88	12	52	46.1719
03000	29	26	1	88	13	0	48.6963
03100	29	27	1	88	12	53	48.6750
03200	39	27	1	88	13	8	47.4222
03300	49	27	1	88	13	23	46.1670
03400	29	27	1	88	13	41	48.6930
03500	29	28	1	88	12	54	48.6536
03600	39	28	1	88	13	9	47.4021
03700	49	28	1	88	13	25	46.1470
03800	29	28	1	88	13	39	48.6749
03900	29	29	1	88	10	59	48.5668
04000	39	29	1	88	11	32	47.3174
04100	49	29	1	88	12	2	46.0674
04200	29	29	1	88	12	36	48.6038
04300							

00100	PONTO	DIA	MES	ANO	HORA	KIN	LEIT.MEDIA
00200							
00300	20	20	1	88	12	44	49.6802
00400	30	20	1	88	12	51	48.4159
00500	40	20	1	88	12	56	47.1567
00600	50	20	1	88	13	1	45.8771
00700	20	20	1	88	13	7	49.6723
00800	20	20	1	88	12	16	49.6913
00900	30	20	1	88	12	21	48.4280
01000	40	20	1	88	12	26	47.1674
01100	50	20	1	88	12	30	45.8862
01200	20	20	1	88	12	36	49.6800
01300	20	21	1	88	12	8	49.7515
01400	30	21	1	88	12	24	48.4769
01500	40	21	1	88	12	41	47.2073
01600	50	21	1	88	12	57	45.9187
01700	20	21	1	88	13	24	49.6979
01800	20	23	1	88	12	55	49.8168
01900	30	23	1	88	13	11	48.5488
02000	40	23	1	88	13	24	47.2819
02100	50	23	1	88	13	37	45.9970
02200	20	23	1	88	13	51	49.7827
02300	20	24	1	88	12	22	49.8699
02400	30	24	1	88	12	35	48.6036
02500	40	24	1	88	12	50	47.3410
02600	50	24	1	88	13	3	46.0578
02700	20	24	1	88	13	18	49.8456
02800	20	25	1	88	12	19	49.8759
02900	30	25	1	88	12	27	48.6133
03000	40	25	1	88	12	36	47.3569
03100	50	25	1	88	12	45	46.0778
03200	20	25	1	88	12	55	49.8726
03300	20	26	1	88	12	32	49.8641
03400	30	26	1	88	12	39	48.6046
03500	40	26	1	88	12	47	47.3501
03600	50	26	1	88	12	56	46.0731
03700	20	26	1	88	13	4	49.8703
03800	20	27	1	88	12	40	49.8451
03900	30	27	1	88	12	56	48.5913
04000	40	27	1	88	13	11	47.3410
04100	50	27	1	88	13	25	46.0682
04200	20	27	1	88	13	47	49.8697
04300	20	28	1	88	12	42	49.8208
04400	30	28	1	88	12	58	48.5689
04500	40	28	1	88	13	13	47.3205
04600	50	28	1	88	13	28	46.0503
04700	20	28	1	88	13	43	49.8524
04800	20	29	1	88	10	24	49.7385
04900	30	29	1	88	11	3	48.4824
05000	40	29	1	88	11	36	47.2359
05100	50	29	1	88	12	5	45.9705
05200	20	29	1	88	12	41	49.7832
05300							

ANEXO D: listagem do programa principal GRAD.FOR em
linguagem Fortran.

Sub-rotinas utilizadas para a execução do programa GRAD.FOR:
SMASSA.FOR e MEDGRA.FOR

Arquivos de dados de entrada:

Arquivo CL.DAT (único para o edifício) composto por:

- matriz PLAN(5,2) contendo as coordenadas planas das lajes, sendo a coluna 1 formada pelas coordenadas y, e a coluna 2 pelas coordenadas z;
- NL (número de lajes do edifício);
- matriz XLL(NL,2) contendo as alturas x das lajes, sendo a coluna 1 formada pelas alturas inferiores e a coluna 2 pelas alturas superiores, de cada laje;

Arquivo CO.DAT (variável para cada circuito) composto por:

- NP (número de estações do circuito);
- V, WC (coordenadas planas das estações);
- vetor HP(NP) contendo as alturas de planta das estações;
- vetor HQ(NP) contendo as alturas de paquímetro das estações;
- XNOME, IV2, IV3, J100, IHOR, IMIN, XLEI correspondendo respectivamente a nome da estação, dia, mês, ano, hora, minuto e leitura média efetuada com o gravímetro;
- vetor GO(NP*10) composto pelas correções de maré das leituras efetuadas com o gravímetro;

O arquivo de dados de saída do programa, é SO.DAT, composto por todos os resultados, parciais e finais;

O arquivo SGO.DAT é formado para servir como entrada do programa GERAL.FOR, e é composto por XMM, HP e HQ;

```
00100      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00200      DIMENSION XNOME(3),XMM(10),XFTM(200)
00300      DIMENSION VV11(200),VLEI(200)
00400      DIMENSION GO(200),XLEIFV(200)
00500      DIMENSION DT(200),DTCY(200),XF(200),XFM(200)
00600      DIMENSION PLAN(5,2),XLL(8,2),ZZ(8,20),ZZT(1,10)
00700      DIMENSION HP(20),GRADP(200),DHP(200),DHPM(200)
00800      DIMENSION HQ(20),GRADQ(200),DHQ(200),DHQM(200)
00900      DIMENSION SODIF(200),VARIA(200),DEPA1(200),DEFAM(200)
01000      K=0
01100      OPEN(UNIT=21,FILE='S0',ACCESS='SEQUOUT')
01200      OPEN(UNIT=24,FILE='SG0',ACCESS='SEQUOUT')
01300      OPEN(UNIT=23,FILE='C0',ACCESS='SEQIN')
01400      OPEN(UNIT=22,FILE='CL',ACCESS='SEQIN')
01500      READ(22,*)((PLAN(I,J),J=1,2),I=1,5),NL,((XLL(I,J),J=1,2),
01600      *I=1,NL)
01700      READ(23,*)NP,V,WC,(HP(I),I=1,NP),(HQ(I),I=1,NP)
01800      100      FORMAT(F14.3)
01900      WRITE(21,80)
02000      80      FORMAT(X,' PONTO',3X,' DIA',3X,' MES',5X,' ANO',2X,' HORA',
02100      *2X,' MIN',3X,' LEIT.MEDIA'/)
02200      C
02300      C      DEFINICAO DE VARIAVEIS
02400      C
02500      C      GLAT - LATITUDE DA ESTACAO EM GRAUS
02600      C      GLAT=-25.45
02700      C      GLON - LONGITUDE DA ESTACAO EM GRAUS
02800      C      GLON=-49.2333
02900      C      ALTI - ALTITUDE EM METROS.
03000      C      ALTI=908.
03100      C      F - FATOR DE CALIBRACAO DO GRAVIMETRO LCR D-99
03200      C      F=1.0943
03300      C
03400      C      LEITURA DOS DADOS DA ESTACAO E OBSERVACAO.
03500      101      READ(23,50)XNOME,IV2,IV3,J100,IHOR,IMIN,XLEI
03600      50      FORMAT(3A1,3I2,1X,2I2,1X,F7.4)
03700      IF(IV2-99)109,600,109
03800      109      WRITE(21,55)XNOME,IV2,IV3,J100,IHOR,IMIN,XLEI
03900      55      FORMAT(3X,3A1,5X,I2,5X,I2,5X,I4,5X,I2,4X,I2,7X,F7.4)
04000      K=K+1
04100      C
04200      C      XLEIF = LEITURA CORRIGIDA DO FATOR DE CALIBRACAO
04300      C      XLEIF=XLEI*F
04400      C
04500      C      CRIA VETOR VV11 = HORA EM FRACAO DECIMAL
04600      C      CRIA VETOR XLEIFV = LEIT. CORR. DO FATOR DE CALIBRACAO
04700      C
04800      C      VHORI=FLOAT(IHOR)
04900      C      VMIN1=FLOAT(IMIN)
05000      C      V11=VHORI + VMIN1/60.DO
05100      C      VV11(K)=V11
05200      C      XLEIFV(K)=XLEIF
05300      C      VOLTAR PARA LER NOVOS VALORES
```

```
05400      GO TO 101
05500      C
05600      C      VLEI = LEITURA CORRIGIDA DA FORCA DE MARE EM MILIGAL
05700      C      GO = CORRECAO DA FORCA DE MARE EM MILIGAL
05800      C
05900      600      READ(23,*) (GO(I), I=1, K)
06000      DO 191 I=1, K
06100      VLEI(I)=XLEIFV(I) + GO(I)
06200      191      CONTINUE
06300      WRITE(21, 96)
06400      96      FORMAT(///, ' CY - FATOR DE CORRECAO DA
06500      * DERIVA DINAMICA', /)
06600      C
06700      C      CALCULO DA DERIVA DINAMICA
06800      C      NK = NUMERO DE PONTOS MEDIDOS EM CADA CIRCUITO
06900      C
07000      NK=K/10
07100      C
07200      C      AY = DIFERENCA TOTAL DE HORA NO CIRCUITO (ULTIMA-PRIMEIRA)
07300      C      BY = DIFERENCA DE LEITURA (PRIMEIRA - ULTIMA)
07400      C      CY = FATOR DE CORRECAO DA DERIVA DINAMICA
07500      C
07600      DO 210 I=1, 10
07700      AY=0.
07800      BY=0.
07900      CY=0.
08000      ND=0
08100      ND=NK*I
08200      AY= VV11(ND) - VV11(ND-NP)
08300      BY= VLEI(ND-NP) - VLEI(ND)
08400      CY = BY/AY
08500      WRITE(21, 100) CY
08600      C
08700      C      DT = VETOR DIFERENCAS DE TEMPO EM RELACAO AO PRIMEIRO
08800      C      DTCY = DT * CY
08900      C      XF = LEITURAS CORRIGIDAS DA DERIVA DINAMICA
09000      C
09100      DO 220 J=(ND-NP), ND
09200      DT(J)=VV11(J) - VV11(ND-NP)
09300      DTCY(J)=DT(J)*CY
09400      XF(J) = VLEI(J) + DTCY(J)
09500      220      CONTINUE
09600      210      CONTINUE
09700      WRITE(21, 75)
09800      75      FORMAT(/5X, ' GO', 11X, ' XLEIFV', 9X, ' VLEI', 11X, ' XF', /)
09900      DO 85 I=1, K
10000      WRITE(21, 95) GO(I), XLEIFV(I), VLEI(I), XF(I)
10100      95      FORMAT(4X, F6.4, 10X, F6.3, 9X, F6.3, 9X, F6.3)
10200      85      CONTINUE
10300      C
10400      C      CALCULO DA MEDIA DOS CIRCUITOS CORR. DA DERIVA DINAMICA
10500      C
10600      MAX = K + 1
```

```
10700      DO 240 I=1,NK
10800      JJ=J
10900      250  XFTM(I) = XFTM(I) + XF(JJ)
11000      JJ = JJ + NK
11100      IF((JJ).LT.MAX)GO TO 250
11200      240  CONTINUE
11300      DO 260 I=1,NK
11400      XFM(I)=XFTM(I)/10,
11500      260  CONTINUE
11600      DO 271 IE=1,NK
11700      DO 271 JK=1,10
11800      IAUX=JK-1
11900      SODIF(IE)=SODIF(IE)+((XF(IE+IAUX*NK))-XFM(IE))**2
12000      271  CONTINUE
12100      DO 272 IE=1,NK
12200      DEPAM(IE)=(SODIF(IE)/((NK)*(NK-1)))*0.5
12300      DEPA1(IE)=(SODIF(IE)/(NK-1))*0.5
12400      VARIA(IE)=DEPAM(IE)**2
12500      272  CONTINUE
12600      WRITE(21,270)
12700      270  FORMAT(//5X,' XFM',11X,' DEPA1',9X,' DEPAM',10X,
12800      *' VARIA',/)
12900      DO 275 I=1,NK
13000      WRITE(21,280)XFM(I),DEPA1(I),DEPAM(I),VARIA(I)
13100      280  FORMAT(4X,F6.3,10X,F5.3,10X,F5.3,10X,F8.6)
13200      275  CONTINUE
13300      C
13400      C      CALCULO DA CORRECAO DA MASSA DO EDIFICIO
13500      C
13600      CALL SMASSA(PLAN,XLL,NP,NL,V,WC,HP,ZZ,ZZT)
13700      WRITE(21,310)
13800      310  FORMAT(///' ZZ = CORRECAO DA MASSA DO EDIFICIO')
13900      WRITE(21,311)
14000      311  FORMAT(5X,' LINHAS: LAJES 1 A NL / COLUNAS: NP PONTOS
14100      * DE MEDIDA',/)
14200      301  FORMAT(4F7.5)
14300      302  FORMAT(6F7.5)
14400      303  FORMAT(8F7.5)
14500      304  FORMAT(7F7.5)
14600      305  FORMAT(3F7.5)
14700      320  FORMAT(///,' ZZT = SOMA DA CORR.MASSA EDIF.PARA CADA
14800      * PONTO DE MEDIDA',/)
14900      IF(NP.EQ.4)GO TO 201
15000      IF(NP.EQ.6)GO TO 202
15100      IF(NP.EQ.8)GO TO 203
15200      IF(NP.EQ.7)GO TO 204
15300      IF(NP.EQ.3)GO TO 205
15400      201  WRITE(21,301)((ZZ(L,KP),KP=1,NP),L=1,NL)
15500      WRITE(21,320)
15600      WRITE(21,301)(ZZT(1,J),J=1,NP)
15700      GO TO 400
15800      202  WRITE(21,302)((ZZ(L,KP),KP=1,NP),L=1,NL)
15900      WRITE(21,320)
```

```

16000      WRITE(21,302)((ZZT(1,J),J=1,NP)
16100      GO TO 400
16200      203  WRITE(21,303)((ZZ(L,KP),KP=1,NP),L=1,NL)
16300      WRITE(21,320)
16400      WRITE(21,303)((ZZT(1,J),J=1,NP)
16500      GO TO 400
16600      204  WRITE(21,304)((ZZ(L,KP),KP=1,NP),L=1,NL)
16700      WRITE(21,320)
16800      WRITE(21,304)((ZZT(1,J),J=1,NP)
16900      GO TO 400
17000      205  WRITE(21,305)((ZZ(L,KP),KP=1,NP),L=1,NL)
17100      WRITE(21,320)
17200      WRITE(21,305)((ZZT(1,J),J=1,NP)
17300      GO TO 400
17400      400  DO 330 I=1,NP
17500      DO 330 J=1,NP
17600      XMM(I) = XFM(J) - ZZT(1,J)
17700      330  CONTINUE
17800      WRITE(21,340)
17900      340  FORMAT(//,' XMM = LEIT. CORR. MASSA EDIFICIO ',/)
18000      WRITE(21,100)(XMM(I),I=1,NP)
18100      DO 290 I=1,NP
18200      WRITE(24,295)XMM(I),HP(I),HQ(I)
18300      295  FORMAT(F6.3,2X,F6.3,2X,F7.3)
18400      290  CONTINUE
18500      C
18600      C
18700      C      CALCULO DOS GRADIENTES VERTICAIS DA GRAVIDADE
18800      C
18900      C      DHP = DIFERENCAS DE 'ALTURAS' DE PLANTA NO EDIFICIO
19000      C      DHPM = MEDIAS DAS DIFERENCAS DE 'ALTURAS' DE PLANTA
19100      C      DHQ = DIFERENCAS DE 'ALTURAS' COM PAQUIMETRO
19200      C      DHQM = MEDIAS DAS DIFERENCAS DE 'ALTURAS' COM PAQUIMETRO
19300      C      GRADP = GVG A PARTIR DE XMM E DHP
19400      C      GRADQ = GVG A PARTIR DE XMM E DHQ
19500      ICONT=0
19600      WRITE(21,361)
19700      361  FORMAT(//,' I', ' J', 1X,
19800      *' HP(I)', 1X, ' HP(J)', 2X, ' DHP', 4X, ' GRADP', 1X,
19900      *' HQ(I)', 1X, ' HQ(J)', 2X, ' DHQ', 4X, ' GRADQ', /)
20000      DO 360 I=1,NP-1
20100      DO 360 J=I+1,NP
20200      ICONT=ICONT+1
20300      DHP(ICONT)=HP(I)-HP(J)
20400      DHPM(ICONT)=(HP(I)+HP(J))/2.
20500      DHQ(ICONT)=HQ(I)-HQ(J)
20600      DHQM(ICONT)=(HQ(I)+HQ(J))/2
20700      GRADP(ICONT)=(XMM(I)-XMM(J))/DHP(ICONT)
20800      GRADQ(ICONT)=(XMM(I)-XMM(J))/DHQ(ICONT)
20900      WRITE(21,365)I,J
21000      *,HP(I),HP(J),DHP(ICONT),GRADP(ICONT)
21100      *,HQ(I),HQ(J),DHQ(ICONT),GRADQ(ICONT)
21200      365  FORMAT(I2,I2,F7.3,F7.3,F8.3,F8.3,F7.3,F7.3,F8.3,F8.3)

```

```
21300      360      CONTINUE
21400              CALL MEDGRA(ICONT,GRADP,GRADPM,DEP1P,DEPMP,VARIP)
21500              CALL MEDGRA(ICONT,GRADQ,GRADQM,DEP1Q,DEPMQ,VARIQ)
21600      450      FORMAT(F6.3,5X,F4.3,5X,F4.3,4X,F7.6)
21700              WRITE(21,380)
21800      380      FORMAT(///,' GRADPM',4X,' DEP1P',3X,' DEPMP',2X,' VARIP',/)
21900              WRITE(21,450)GRADPM,DEP1P,DEPMP,VARIP
22000              WRITE(21,390)
22100      390      FORMAT(///,' GRADQM',4X,' DEP1Q',3X,' DEPMQ',2X,' VARIQ',/)
22200              WRITE(21,450)GRADQM,DEP1Q,DEPMQ,VARIQ
22300              WRITE(21,500)
22400      500      FORMAT(/)
22500              CLOSE(UNIT=21)
22600              CLOSE(UNIT=23)
22700              CLOSE(UNIT=22)
22800              CLOSE(UNIT=24)
22900              CALL EXIT
23000      END
```

ANEXO E: listagem contendo fator de correção da deriva dinâmica (CY), correção da força de maré (GO), leituras gravimétricas em mGal (XLEIFV), leituras gravimétricas corrigidas da força de maré (VLEI) e leituras corrigidas da deriva dinâmica (XF), para cada o circuito 1.

05500

05600

CY - FATOR DE CORRECAO DA DERIVA DINAMICA

05700

05800

0.003

05900

0.003

06000

0.005

06100

0.005

06200

0.004

06300

0.005

06400

0.002

06500

0.002

06600

0.003

06700

0.003

06800

06900

GO

XLEIFV

VLEJ

XF

07000

07100

.0418

57.040

57.082

57.082

07200

.0133

54.471

54.485

54.487

07300

.0031

53.087

53.090

53.093

07400

-.0069

51.711

51.704

51.708

07500

-.0346

57.109

57.075

57.082

07600

.2206

56.858

57.078

57.078

07700

.1980

54.284

54.482

54.484

07800

.1870

52.905

53.092

53.095

07900

.1757

51.527

51.702

51.705

08000

.1433

56.930

57.073

57.078

08100

-.0374

57.119

57.082

57.082

08200

-.0034

54.488

54.484

54.487

08300

.0094

53.081

53.091

53.095

08400

.0248

51.677

51.702

51.707

08500

.0711

57.002

57.073

57.082

08600

-.0116

57.092

57.081

57.081

08700

.0032

54.481

54.484

54.486

08800

.0154

53.076

53.092

53.095

08900

.0181

51.685

51.703

51.707

09000

.0329

57.042

57.075

57.081

09100

-.0208

57.102

57.081

57.081

09200

-.0178

54.500

54.482

54.483

09300

-.0160

53.108

53.092

53.094

09400

-.0136

51.717

51.703

51.706

09500

-.0082

57.085

57.077

57.081

09600

.0397

57.042

57.081

57.081

09700

.0269

54.456

54.483

54.485

09800

.0226

53.069

53.092

53.095

09900

.0188

51.686

51.705

51.710

10000

.0109

57.064

57.075

57.081

10100

.0739

57.004

57.078

57.078

10200

.0625

54.420

54.482

54.483

10300

.0575

53.034

53.091

53.093

10400

.0533

51.651

51.704

51.706

10500

.0438

57.032

57.076

57.078

10600

.1091

56.972

57.082

57.082

10700

.1048

54.380

54.485

54.485

10800	.1024	52.988	53.091	53.092
10900	.0990	51.605	51.704	51.706
11000	.0923	56.987	57.079	57.082
11100	.1253	56.956	57.081	57.081
11200	.1264	54.357	54.484	54.485
11300	.1259	52.965	53.091	53.093
11400	.1249	51.580	51.705	51.707
11500	.1211	56.957	57.078	57.081
11600	.1284	56.951	57.080	57.080
11700	.1419	54.342	54.483	54.488
11800	.1352	52.955	53.090	53.097
11900	.1238	51.580	51.703	51.711
12000	.0852	56.983	57.069	57.080
12100				

ANEXO F: listagem do programa MARÉ.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo da correção da força de maré.

```

D Line# 1      7      Microsoft FORTRAN77 V3.30 March 1985
1      SUBROUTINE MARE(XJ,HT,XLA,XLO,H1,G0)
2 C      *****
3 C      * SUBPROGRAMA MARES - CALCULO DA COMPONENTE VERTICAL DA FORCA DE *
4 C      *                                     MARES                                     *
5 C      *                                                                 *
6 C      * REF. BIBLIOGRAFICAS:                                                                 *
7 C      *   FORMULAE FOR COMPUTING THE TIDAL ACCELERATION DUE TO THE *
8 C      *   MOON AND THE SUN. LONGMANN.(LOS ANGELES, DEC 1959). *
9 C      * *****
10 C      * ENTRADA DE DADOS:                                     *
11 C      *   XJ=DATA JULIANA                                     *
12 C      *   HT=HORA TU E FRACAO DE HORA DA OBSERVACAO *
13 C      *   XLA=LATITUDE DO LOCAL EM RADIANS *
14 C      *   XLO=LONGITUDE DO LOCAL EM RADIANS *
15 C      *   H1=ALTITUDE DO LOCAL EM CENTIMETROS *
16 C      *   G0=COMPONENTE VERTICAL DA ATRACAO LUNI-SOLAR MILIGALS *
17 C      * *****
18      IMPLICIT REAL*8(A-H)
19      IMPLICIT REAL*8(O-Y)
20      IMPLICIT CHARACTER*16(Z)
21      PI=3.1415926535897932D00
22      T=(XJ-2.415020D06)/3.6525D04
23      T2=T*T
24      T3=T*T2
25      UM=1.0D00
26      DOI=2.0D00
27      C0=3.84402D10
28      U0=6.67D-08
29      BM0=7.3537D25
30      S0=1.993E33
31      BI0=8.979719D-02
32      W0=4.0931D-01+4.6162D-06
33      BN0=7.4804D-02
34      E0=5.489972D-02
35      C1=1.495D13
36      A0=6.37827D08
37      RI=1.2D03
38      S1=.472D01+2.3439D-05+(8.399D03+7.09295D-01)*T+4.4069564D-05*
39      +T2+3.297D-08*T3
40      P0=5.8351D00+2.4722D-05+(7.1018D01+9.36D-06)*T-(1.8054D-04+4.615
41      +D-09)*T2-2.1817D-07*T3
42      H2=4.8816D00+2.7935D-05+(6.2833D02+1.9511D-03)*T+5.27962D-06*T2
43      BN1=4.5235D00+8.8571D-05-(3.37571D01+5.303D-05)*T+3.674888D-05*T2
44      *+3.878D-08*T3
45      P1=4.9082D00+2.9468D-05+3.0005264D-02*T+7.902463D-06*T2+5.818D-08*
46      *T3
47      E1=1.675104D-02-4.18D-05*T-1.26D-07*T2
48      BIA=9.1369D-01+7.5723D-06-(3.5689D-02+5.352D-07)*DCOS(BN1)
49      BIB=DSQRT(UM-BIA**2)
50      VA=8.9676558D-02*DSIN(BN1)/BIB
51      VB=DSQRT(UM-VA**2)
52      V0=DATAN(VA/VB)
53      A8=VB*DCOS(BN1)+VA*DSIN(BN1)*DCOS(W0)
54      A9=DSIN(W0)*DSIN(BN1)/BIB
55      AL=DOI*DATAN(A9/(1+A8))
56      IF(AL.GE.0.0D00)GOTO 10

```

D Line# 1 7 Microsoft FORTRAN77 V3.30 March 1985

```

57 AL=AL+DOI*PI
58 10 BL=S1-BN1+AL+DOI*E0*DSIN(S1-P0)+5.0D00/4.0D00*E0**2*DSIN(DOI
59 +*(S1-P0))+1.5D01/4.0D00*BN0*E0*DSIN(S1-DOI*H2+P0)+1.1D01/8.0D00
60 +*BN0**2*DSIN(DOI*(S1-H2))
61 TS=((1.5D01*HT-1.80D02)*PI)/1.80D02-XLO
62 QS=TS+H2-V0
63 BL1=H2+DOI*E1*DSIN(H2-P1)
64 Q1=TS+H2
65 C2=DSQRT(UM/(UM+6.738D-03*(DSIN(XLA)**2)))
66 R0=C2*A0+H1
67 AB=UM/(C0*(UM-E0**2))
68 AC=UM/(C1*(UM-E1**2))
69 D1=UM/C0+AB*E0*DCOS(S1-P0)+AB*E0**2*DCOS(DOI*(S1-P0))+1.5
70 *D01/8.0D00*AB*BN0*E0*DCOS(S1-DOI*H2+P0)+AB*BN0**2*DCOS(DOI
71 +*(S1-H2))
72 D2=UM/C1+AC*E1*DCOS(H2-P1)
73 TE=BIB*DSIN(XLA)*DSIN(BL)+DCOS(XLA)*((UM+BIA)*DCOS(BL-QS)+(UM
74 *-BIA)*DCOS(BL+QS))/DOI
75 FI=DSIN(XLA)*DSIN(W0)*DSIN(BL1)+DCOS(XLA)*((UM+DCOS(W0))*DCOS(
76 *BL1-Q1)+(UM-DCOS(W0))*DCOS(BL1+Q1))/DOI
77 X1=U0*D1*BM0*D1*R0*D1
78 X2=1.5D00*R0*D1*(5.0D00*TE**3-3.0D00*TE)
79 GM=X1*(3.0D00*TE**2-UM+X2)
80 GI=U0*R0*D2*S0*D2*D2
81 GS=GI*(3.0D00*FI**2-UM)
82 G0=(GM+GS)*RI
83 RETURN
84 END

```

Name	Type	Offset	P	Class
A0	REAL*8	136		
A8	REAL*8	240		
A9	REAL*8	248		
AB	REAL*8	320		
AC	REAL*8	328		
AL	REAL*8	256		
B10	REAL*8	96		
BIA	REAL*8	200		
BIB	REAL*8	208		
BL	REAL*8	264		
BL1	REAL*8	288		
BM0	REAL*8	80		
BN0	REAL*8	112		
BN1	REAL*8	176		
C0	REAL*8	64		
C1	REAL*8	128		
C2	REAL*8	304		
D1	REAL*8	336		
D2	REAL*8	344		
DATAN				INTRINSIC
DCOS				INTRINSIC
DOI	REAL*8	56		
DSIN				INTRINSIC
DSQRT				INTRINSIC
E0	REAL*8	120		

D Line# 1 7

E1	REAL*8	192
FI	REAL*8	360
G0	REAL*8	20 *
GI	REAL*8	392
GM	REAL*8	384
GS	REAL*8	400
H1	REAL*8	16 *
H2	REAL*8	168
HT	REAL*8	4 *
P0	REAL*8	160
P1	REAL*8	184
PI	REAL*8	16
Q1	REAL*8	296
QS	REAL*8	280
R0	REAL*8	312
RI	REAL*8	144
S0	REAL*8	88
S1	REAL*8	152
T	REAL*8	24
T2	REAL*8	32
T3	REAL*8	40
TE	REAL*8	352
TS	REAL*8	272
U0	REAL*8	72
UM	REAL*8	48
V0	REAL*8	232
VA	REAL*8	216
VB	REAL*8	224
W0	REAL*8	104
X1	REAL*8	368
X2	REAL*8	376
XJ	REAL*8	0 *
XLA	REAL*8	8 *
XLO	REAL*8	12 *

Name	Type	Size	Class
MARE			SUBROUTINE

Pass One No Errors Detected
 84 Source Lines

ANEXO G: listagem da sub-rotina SMASSA.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo da influência da massa do edifício, sobre as leituras gravimétricas.

```

00100      SUBROUTINE SMASSA(PLAN,XLL,NF,NL,V,WC,HP,ZZ,ZZT)
00200      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00300      DIMENSION PLAN(5,2),XLL(8,2),HP(20),A1(20),A1Q(20)
00400      DIMENSION A2Q(20),A3(20),A3Q(20),A4(20),A4Q(20),A5(20)
00500      DIMENSION A2(20),A5Q(20),BL(20),B1(20),Z4(20),ZD(20)
00600      DIMENSION A6(20),A6Q(20),ALN(20),ALD(20),AL(20),BLN(20)
00700      DIMENSION RLQ0(20),RLQ1(20),FL1(20),FL2(20),ZCOS(20)
00800      DIMENSION B2(20),Z1(20),Z2(20),Z3(20),Z41(20),Z42(20)
00900      DIMENSION Z51(20),Z52(20),Z5(20),Z6(20),Z7(20),Z8(20)
01000      DIMENSION ZF(20),ZZ(8,20),ZZT(1,10)
01100      C
01200      DO 1 KF=1,NF
01300      C
01400      DO 2 L=1,NL
01500      C
01600      ZSOM=0,
01700      C
01800      DO 4 I=1,5
01900      A1(I)=0,
02000      A1Q(I)=0,
02100      A2(I)=0,
02200      A2Q(I)=0,
02300      A3(I)=0,
02400      A3Q(I)=0,
02500      A4(I)=0,
02600      A4Q(I)=0,
02700      A5(I)=0,
02800      A5Q(I)=0,
02900      A6(I)=0,
03000      A6Q(I)=0,
03100      ALN(I)=0,
03200      ALD(I)=0,
03300      AL(I)=0,
03400      BLN(I)=0,
03500      BL(I)=0,
03600      RLQ0(I)=0,
03700      RLQ1(I)=0,
03800      FL1(I)=0,
03900      FL2(I)=0,
04000      ZCOS(I)=0,
04100      4 CONTINUE
04200      C
04300      DO 3 I=2,5
04400      C
04500      A1(I)=PLAN(I-1,1) - V
04600      A1Q(I)=A1(I)**2
04700      A2(I)=PLAN(I-1,1) - PLAN(I,1)
04800      IF(A2(I).EQ.0.)GO TO 3
04900      A2Q(I)=A2(I)**2
05000      A3(I)=PLAN(I-1,2) - WC
05100      A3Q(I)=A3(I)**2
05200      A4(I)=PLAN(I-1,2) - PLAN(I,2)
05300      A4Q(I)=A4(I)**2

```

```

05400      A5(I)=PLAN(I,1) - V
05500      A5Q(I)= A5(I)**2
05600      A6(I)=PLAN(I,2) - WC
05700      A6Q(I)=A6(I)**2
05800      ALN(I)= (A1(I)*A2(I)) + (A3(I)*A4(I))
05900      ALD(I)= (A2Q(I) + A4Q(I))*0.5
06000      AL(I)=ALN(I)/ALD(I)
06100      BLN(I)=(A5(I)*A2(I)) + (A6(I)*A4(I))
06200      BL(I)=BLN(I)/ALD(I)
06300      RLQ0(I)=A1Q(I) + A3Q(I)
06400      RLQ1(I)=A5Q(I) + A6Q(I)
06500      PL1(I)=(RLQ0(I) - (AL(I)**2))*0.5
06600      PL2(I)=(RLQ1(I) - (BL(I)**2))*0.5
06700      ZCOS(I)=A2(I)/((A2Q(I)+A4Q(I))*0.5)
06800      ES=XLL(L,2) - HF(KF) + 0.07
06900      EI=XLL(L,1) - HF(KF) + 0.07
07000      E=ES
07100      7      Z1(I)=0.
07200      Z2(I)=0.
07300      Z3(I)=0.
07400      Z4(I)=0.
07500      Z5(I)=0.
07600      Z6(I)=0.
07700      Z7(I)=0.
07800      B1(I)=0.
07900      B2(I)=0.
08000      Z41(I)=0.
08100      Z42(I)=0.
08200      Z51(I)=0.
08300      Z52(I)=0.
08400      IF(E.EQ.0.)GO TO 5
08500      B1(I)= ( E**2 + RLQ1(I) ) **0.5
08600      B2(I)= ( E**2 + RLQ0(I) ) **0.5
08700      Z1(I)= E *ALOG ((BL(I)+B1(I))/(AL(I)+B2(I)))
08800      Z2(I)= BL(I)*ALOG(E+B1(I))
08900      Z3(I)=AL(I)*ALOG(E+B2(I))
09000      Z41(I)=(RLQ1(I)**0.5-BL(I))/PL1(I)
09100      Z42(I)=(B1(I) -RLQ1(I)**0.5)/E
09200      Z4(I)=ATAN(Z41(I)*Z42(I))
09300      Z51(I)=(RLQ0(I)**0.5-AL(I))/PL1(I)
09400      Z52(I)=(B2(I)-RLQ0(I)**0.5)/E
09500      Z5(I)=ATAN(Z51(I)*Z52(I))
09600      Z6(I)=2. * PL1(I) * (Z4(I)-Z5(I))
09700      Z7(I)=Z1(I)+Z2(I)-Z3(I)+Z6(I)
09800      5      IF(E.EQ.E1)GO TO 6
09900      Z8(I)=Z7(I)
10000      E=E1
10100      GO TO 7
10200      6      ZD(I)=Z8(I)-Z7(I)
10300      ZF(I)=ZCOS(I)*ZD(I)
10400      ZSOM=ZSOM+ZF(I)
10500      3      CONTINUE
10600      G= 6672.  E-14

```



```
10700      RD = 2.4 * 1000.
10800      ZZ(L,KP)=ZSDM*RD*G*100000
10900      2      CONTINUE
11000      C
11100      1      CONTINUE
11200      DO 8 J=1,NP
11300      DO 9 I=1,8
11400      ZZT(1,J)=ZZT(1,J)+ZZ(I,J)
11500      9      CONTINUE
11600      8      CONTINUE
11700      RETURN
11800      END
```

ANEXO H: listagem da sub-rotina MEDGRA.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo da média aritmética, desvio padrão para uma observação isolada e para a média, e variância dos gradientes verticais da gravidade.

```

00001      SUBROUTINE MEDGRA(ICONT,GRAD,GRADM,DEF1,DEPM,VARI)
00002      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00003      DIMENSION GRAD(2000)
00004      SUM=0.
00005      DIF=0.
00006      DEPM=0.
00007      DEF1=0.
00008      VARI=0.
00009      GRADM=0.
00010      DO 10 I=1,ICONT
00011      SUM=SUM+GRAD(I)
00012      10    CONTINUE
00013      GRADM=SUM/ICONT
00014      DO 20 I=1,ICONT
00015      DIF=DIF+((GRAD(I)-GRADM)**2.)
00016      20    CONTINUE
00017      DEPM=(DIF/(ICONT*(ICONT-1)))**0.5
00018      DEF1=(DIF/(ICONT-1))**0.5
00019      VARI=DEPM**2.
00020      RETURN
00021      END

```

SCALARS AND ARRAYS I "*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED I

*VARI	1	GRAD	3	*DEPM	4	*SUM	6	.S0001	10
.S0000	11	*DEF1	12	*I	14	*GRADM	15	*DIF	17
*ICONT	21								

TEMPORARIES

.A0016	22	.00000	23	.00001	24
--------	----	--------	----	--------	----

MEDGRA I No errors detected I

ANEXO I: listagem do programa GERAL.FOR, em linguagem Fortran, para cálculo dos gradientes verticais da gravidade, desconsiderando-se o fato dos circuitos pertencerem a verticais diferentes.

A ~~XXXXXXXXXX~~

Sub-rotina utilizada para a execução do programa GERAL.FOR:

- MEDGRA.FOR

Arquivo de dados de entrada CG.DAT, composto por:

- NP , número de pontos;
- vetores XMM(NP), HP(NP) e HQ(NP);

Arquivo de dados de saída SG.DAT, contendo os resultados.

```

00001      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00002      DIMENSION HP(9000),GRADP(9000),DHP(9000),DHFM(9000)
00003      DIMENSION HQ(9000),GRADQ(9000),DHQ(9000),DHQM(9000)
00004      DIMENSION XMM(9000)
00005      OPEN(UNIT=21,FILE='SG',ACCESS='SEQUOY')
00006      OPEN(UNIT=23,FILE='CG',ACCESS='SEQIN')
00007      READ(23,*)NP
00008      DO 10 I=1,NP
00009      READ(23,*)XMM(I),HP(I),HQ(I)
00010  10    CONTINUE
00011  C      CALCULO DOS GRADIENTES VERTICAIS DA GRAVIDADE
00012  C
00013  C      DHP = DIFERENCAS DE 'ALTURAS' DE PLANTA NO EDIFICIO
00014  C      DHFM = MEDIAS DAS DIFERENCAS DE 'ALTURAS' DE PLANTA
00015  C      DHQ = DIFERENCAS DE 'ALTURAS' COM PAQUIMETRO
00016  C      DHQM = MEDIAS DAS DIFERENCAS DE 'ALTURAS' COM PAQUIMETRO
00017  C      GRADP = GVG A PARTIR DE XMM E DHP
00018  C      GRADQ = GVG A PARTIR DE XMM E DHQ
00019      ICONT=0
00020      DO 360 I=1,NP-1
00021      DO 360 J=I+1,NP
00022      ICONT=ICONT+1
00023      DHP(ICONT)=HP(I)-HP(J)
00024      DHFM(ICONT)=(HP(I)+HP(J))/2.
00025      DHQ(ICONT)=HQ(I)-HQ(J)
00026      DHQM(ICONT)=(HQ(I)+HQ(J))/2
00027      GRADP(ICONT)=(XMM(I)-XMM(J))/DHP(ICONT)
00028      GRADQ(ICONT)=(XMM(I)-XMM(J))/DHQ(ICONT)
00029  360    CONTINUE
00030      CALL MEDGRA(ICONT,GRADP,GRADPM,DEP1P,DEPMP,VARIP)
00031      CALL MEDGRA(ICONT,GRADQ,GRADQM,DEP1Q,DEPMQ,VARIQ)
00032  400    FORMAT(F6.3,5X,F4.3,5X,F4.3,4X,F7.6)
00033      WRITE(21,380)
00034  380    FORMAT(///,' GRADPM',4X,' DEP1P',4X,' DEPMP',4X,' VARIP',/)
00035      WRITE(21,400)GRADPM,DEP1P,DEPMP,VARIP
00036      WRITE(21,390)
00037  390    FORMAT(///,' GRADQM',4X,' DEP1Q',4X,' DEPMQ',4X,' VARIQ',/)
00038      WRITE(21,400)GRADQM,DEP1Q,DEPMQ,VARIQ
00039      WRITE(21,500)
00040  500    FORMAT(/)
00041      CLOSE(UNIT=21)
00042      CLOSE(UNIT=23)
00043      CALL EXIT
00044      END

```

SUBPROGRAMS CALLED

EXIT MEDGRA

SCALARS AND ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

DHPM	1	GRADQ	43121	DHQ	106241	*VARIP	151361	*DEPMQ	151363
XMM	151365	DHQM	214505	GRADP	257625	*DEPMF	322745	*DEP1Q	322747
*J	322751	HQ	322752	.S0002	366072	.S0001	366073	.S0000	366074
*NP	366075	*GRADQM	366076	*DEP1P	366100	HP	366102	DHP	431222